

공기 유압식 브레이크 라인 파손 사례 및 파손 분석 연구

박정만* · 박종진**†

A Case Study on Failure and Analysis of Air Over Hydraulic Brake Line

Jeongman Park*, Jongjin Park**†

Key Words : Air over hydraulic brake(공기 유압식 브레이크), Pipe failure(배관 파손), Corrosion(부식), Traffic accident(교통사고), Heavy vehicle(대형 차량), Construction machinery(건설기계)

ABSTRACT

In this case study, the brake line failure of air over hydraulic(AOH) brake system is described. AOH brake system is applied to commercial vehicles between 5 to 8 tons. It consists of a hydraulic system using compressed air and operates the air master to form hydraulic pressure to transfer braking power to the wheels. When the brake lines of the system applied to vehicles with high load capacity are damaged, the braking force of one shaft is lost, and the braking distance increases rapidly, leading to a big accident. Failure of the brake line occurs due to various causes such as road surface fragmentation, corrosion of the line, and aged deterioration of air brake hose. The braking force could be decreased even when a very small break in the form of a pin-hole occurs. However, it is difficult to find a part where the thickness of the line is thin due to stone pecking or corrosion generated in the pin-hole formed on the brake line located under the lower part of the vehicle by the sensory evaluation or the conventional braking force test. Accordingly, it is necessary to analyze the condition and cause of the failure of the brake line more precisely when the accident investigation of the heavy vehicles, and also to examine the necessity of the advanced test for the aged brake line.

1. 서론

국내 교통사고 발생건수는 2014년에 경찰 데이터 베이스(Data-Base) 기준으로 약 223,552건에서 2018년에 217,148건으로 감소하였으나 건설기계 사고는 2014년 2,025건에서 2018년 2,427건으로 증가하고 화물차 사고는 2014년 28,250건에서 2018년 27,562건으로 전

체 교통사고 사건 감소율 보다 적게 감소하였다.⁽¹⁾ 교통사고 통계는 사고유형, 음주여부, 차종, 도로환경, 운전자의 연령, 상해정도 등 다양한 사고정보를 기반으로 분석되고 있으나 사고원인에 대하여 구체적으로 분석된 자료는 없다. 특히 교통사고 가운데 기계적인 결함과 브레이크 라인에 의한 사고통계를 분석한 자료가 있으나 1970~1980년도 자료뿐이다.^(2,3) 트럭 사망 사고 가운데 기계적 결함과 브레이크 결함 사고에 대한 통계가 있으나, 브레이크 결함 조사 방법이나 사고 원인에 대하여 명확히 서술되어 있지는 않다.^(4,5)

교통사고의 원인에는 중앙선침범, 신호위반, 과속 등

* 국립과학수사연구원 교통과, 공업연구소

** 국립과학수사연구원 교통과, 공업연구소

† 교신저자

E-mail : jeongman3@korea.kr

법규를 위반한 사고와 졸음운전, 운전미숙, 차량결함 등 교통법규를 위반하지 않은 사고가 있다.⁽¹⁾ 그 중에서 차량결함으로 발생하는 사고가 있으며 제작결함과 정비결함 그리고 관리 소홀에 의한 결함으로 구분할 수 있다. 차량의 브레이크 시스템 결함은 사고를 유발하는 주요 요인이며, 차량의 중량이 클수록 사고의 피해정도가 커진다.⁽⁶⁾

차량의 브레이크 시스템은 운전자의 제동페달 작동 정도에 따라 각 바퀴에 장착된 브레이크의 제동력이 변화하는 시스템으로 구성되어 있다. 브레이크의 피스톤을 작동하는 매개체로 승용차량에는 오일을 주로 사용하고 대형 차량에는 더 높은 제동력을 형성하기 위하여 압축공기를 주로 사용한다. 두 시스템 모두 제동페달 작동 정도에 따라 마스터실린더(Master cylinder) 또는 펌프(Pump)에서 형성된 압력을 배관을 통하여 브레이크에 전달하도록 구성되어 있어 압력을 전달하는 브레이크 라인이 파손되는 경우 파손된 배관과 연결된 바퀴의 제동력이 상실된다. 이에 대한 위험을 최소화하고자 다양한 페일세이프(Fail-safe) 또는 진단 방법이 제안되고 적용되었으나,^(7,8) 화물을 적재하는 대형 차량의 경우 부분적인 제동력 손실에도 제동거리가 급격히 길어져 사고로 이어지는 경우가 많다.

차량 하부에 위치한 브레이크 라인의 손상 또는 부식은 노면에서 튀어 오른 파편이 배관 외부를 손상시키고 손상된 부분이 공기 혹은 습기에 노출되어 점차적으로 부식되는 경우가 있다. 실제 사고차량에서 부식된 배관의 위치 검사 시 외부 파편의 영향으로 배관의 하부가 상부보다 심하게 손상된 것을 확인할 수 있으며, 차량 운행에 의한 진동으로 부식된 부분이 떨어져 나가고 다시 부식되는 과정을 반복하여 배관의 두께가 얇아지고 최종적으로 파손에 이르게 된다.⁽⁹⁾

실제 운행연수가 6~8년 되는 차량에서 탈거한 유압 배관의 파단 압력 시험 시 파단 압력이 급격히 감소하고, 부식 정도가 심할수록 부풀어 오르는 형태의 파단이 작게 형성되는 것이 확인된다.⁽⁵⁾ 또한 유압 배관의 부식 정도를 분석하기 위하여 염수 분무 시험(Salt spray test) 후 파손 압력을 측정하고 5,000 psi 이상의 파손 압력을 유지할 수 있는 재질에 대한 연구가 수행되었다.⁽¹⁰⁾

에어 브레이크(Air brake)의 경우 공기를 압축함에 따라 배관 내에 응축수가 형성되어 부식이 발생할 수 있으며, 이를 방지하기 위하여 에어 드라이어(Air dryer)와 같은 부품이 적용되고 있다.⁽¹¹⁾ 그러나 브레이크 라인 외부의 부식에 따른 파손은 배관이 파손되는 유형 가운데 하나로서 배관 파손에는 다양한 원인이 존재한다. 노후

배관의 성능을 완벽히 보장할 수 없고, 상태를 점검하는 방법 또한 명확히 규정되어 있지 않는 상황에서 브레이크 시스템을 구성하는 주요 부품인 유압 피스톤(Piston), 드럼(Drum), 슈(Shoe) 등에 대한 성능검사는 관능검사로 시스템 상태를 확인하는 방법과 제동력시험기를 사용한 제동력 검사가 가능하나, 브레이크 라인은 제동페달부터 부스터 장치, 각 바퀴까지 길게 연결되어 손상 또는 부식된 부분을 검사하기 어렵다.⁽⁹⁾ 차량의 제동력은 브레이크 라인은 작은 파손 또는 손상만으로도 크게 손실될 수 있어 노후 차량의 브레이크 라인 손상 정도를 정밀하고 정확하게 검사할 수 있는 방법이 필요할 뿐만 아니라, 대형 차량 및 건설기계 사고 조사 시 면밀한 검사가 필요한 부품 중 한 부분이다.

이에 따라 본 연구에서는 브레이크 라인 파손의 사고 사례를 소개하고, 파손된 배관의 상태 및 파손부위를 분석하여 결함조사 시 노후 대형 차량의 브레이크 라인 검사의 중요성과 배관 상태 검사 방법에 대한 연구의 필요성에 대하여 강조하고자 한다.

2. 공기 유압식(AOH, air over hydraulic) 브레이크 시스템

차량의 대형화에 따라 유압 브레이크의 제동력으로 차량의 제동성을 충족할 수 없어 에어 브레이크가 적용되었고, 유압과 공기압을 모두 사용하는 방식인 공기 유압식(Air Over Hydraulic)브레이크에는 유압 브레이크와 에어 브레이크의 장점과 단점이 모두 존재한다.⁽¹²⁾ AOH 브레이크 시스템은 Fig. 1과 같이 휠에 제동력을 작용하는 부분은 유압 브레이크 시스템을 사용하고 배력하는 장치에는 에어 브레이크 시스템을 적용하여 컴프레서(Compressor)에서 형성된 압축공기가 에어 마스터(Air master)를 작동하는 방식으로 5~8ton 중량의 차량에 주로 적용되었으며, AOH 브레이크 시스템을 장착한 차량의 주차브레이크는 제작연도 및 차종에 따라 기계식을 사용한 경우와 압축공기를 사용한 방식이 모두 존재한다.

AOH 브레이크 시스템은 압축공기를 생성하는 에어 컴프레서, 압축된 공기의 수분을 제거하는 에어 드라이어, 압축공기를 저장하는 에어 탱크(Air tank), 압축공기를 제어하는 풋 밸브(Foot valve)등의 부품으로 에어 시스템이 구성되어 있고, 풋 밸브에 연결된 제동페달 작동에 따라 제어된 압축공기가 공기압 배관을 통하여 에어마스터에 전달되어 최종적으로 휠 실린더(Wheel cylinder)에 유압이 형성된다. 에어 마스터 내부의 피스톤 면적비

에 따라 낮은 공기압으로 높은 유압을 형성할 수 있으며, 이는 AOH 브레이크 시스템의 장점 중 하나이다.⁽¹²⁾

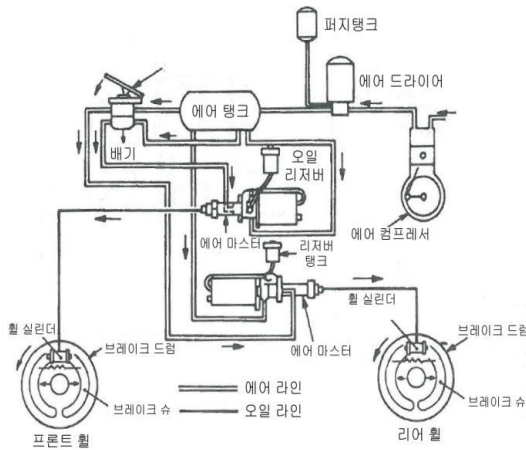


Fig. 1 Schematic diagram of air over hydraulic brake system⁽¹⁵⁾

에어 마스터에 형성된 유압은 배관을 통하여 각 휠 실린더에 전달되고 휠 실린더가 팽창하며 디스크(Disc) 또는 드럼(Drum)을 작동하여 제동력을 형성한다. 제동페달 해제 시 에어 탱크에서 에어 마스터로 압축공기가 전달되지 않고 팟 밸브부터 에어 마스터까지 형성된 압력은 밸브에서 배기되어 대기압과 동일한 압력을 유지하게 된다.

차량에 적용되는 브레이크 라인의 성능 및 체결에 대하여 FMVSS 106, SAEJ1402에 구체적으로 규정되어 있고, 유압 배관과 공기압 배관의 규격이 구분되어 있으며, 파손 압력, 치수, 구부러짐 각도, 재질 등이 명시되어 있다.^(13,14) 배관의 재질은 금속과 비금속으로 나누어지고 비금속 배관은 고무와 플라스틱이 주로 사용된다. FMVSS 106에서 브레이크 호스의 파단은 브레이크 호스가 엔드 피팅(End fitting)에서 분리되거나 누출되는 고장으로 정의되어 있으나, 실제 파손사례에서는 엔드 피팅에 의한 사례보다 브레이크 라인의 중심부 파손에 의한 사고가 다수 확인된다.

3. 브레이크 라인 파손 사례 및 분석

본 연구에서 분석한 브레이크 라인 파손에 의한 사고의 차량은 1993년에서 2002년 사이에 생산된 차량으로 모두 AOH 브레이크 시스템이 적용되었으며, 건설기계로 분류되는 콘크리트 믹스트럭과 덤프트럭이 포함되어 있

다. 브레이크 라인은 에어 컴프레서부터 에어 마스터 입력까지 공기압 배관이 적용되어 있고, 에어 마스터부터 각 휠 실린더까지 유압 배관이 차량 하부에 전반적으로 설치되어 있다. 본 연구에서는 압축공기를 입력하여 공기압 배관의 누기 부분과 유압 배관의 누유 부분을 확인하는 방법으로 먼저 배관의 파손부를 확인한 다음 충돌에 의한 취성파단과 노후에 의한 파손을 구분하여 사고 원인 분석을 진행하였다.

3.1. 공기압 배관 부식 사례

1993년식 콘크리트 믹스트럭이 내리막길에서 제동하지 못하여 12대의 차량을 연쇄충돌하고, 동 믹스트럭이 전봇대를 충격 후 우전도된 사고가 발생하였다. 믹스트럭은 Fig. 2와 같이 탑이 충돌로 인하여 심하게 파손되어 전장부품이 손상되고, 배기관이 변형되어 배출가스의 유동이 제한된 상태가 되었으며, 연료 탱크가 파손되어 차량에 전원 입력 및 시동이 불가능한 상태였다. 동 믹스트럭에 적용된 브레이크 시스템은 AOH 브레이크 시스템



Fig. 2 Damage to the front of the mix truck



Fig. 3 A brake fluid reservoir of the mix truck

으로 에어 마스터와 에어 탱크 그리고 오일 리저버(Oil reservoir)는 차량의 우측 중간에 위치하고 있어 본 사고로 파손 또는 손상이 발생하지 않았고, Fig. 3과 같이 브레이크 오일은 리저버에 제동이 가능할 수준의 잔량이 남아있다.

에어 컴프레서가 작동하지 않는 상태에서도 에어 드라이어의 입력 포트(Port)에 외부 컴프레서를 연결하는 방식으로 압축공기를 공급하여 에어 시스템 및 유압 시스템의 작동을 확인할 수 있다. 따라서 동 믹스트럭의 에어 시스템에 외부 컴프레서 연결 시 공기압 배관에서 누기가 확인되는 부분이 있어 충돌로 파손된 부분만 임시적으로 수리하였다. 그 후 공기압 배관을 재확인 시 충돌로 파손된 부분이 아닌 다른 원인으로 파손되어 누기가 발생하는 부분이 Fig. 4의 A와 같이 풋 밸브로 입력되는 배관에서 확인된다.

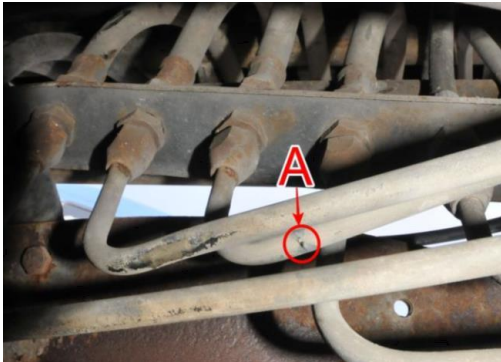


Fig. 4 A location of line failure on the mix truck

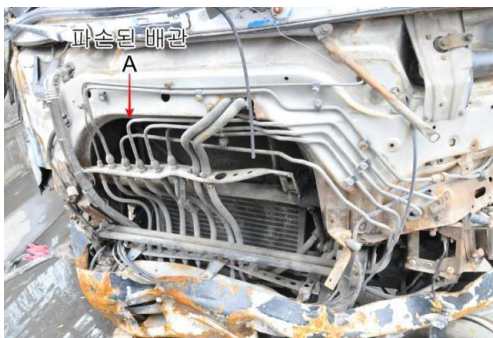


Fig. 5 An air line connection

본 믹스트럭에 적용된 풋 밸브 입력과 출력 배관은 금속재질로 되어 있으며, 에어 탱크가 위치한 차량 우측 중심부에서 차량 전면 하부까지 연결되고, Fig. 5와 같이 라

디에이터 전면에 위치한 공기압 배관 확장부에 연결되어 수직으로 상승하여 운전석 하단에 위치한 풋 밸브로 연결된다. 공기압 배관의 파손부는 에어 탱크에서 공기압 배관 확장부에 수직으로 연결되기 위하여 휘어진 부분에 위치하고 배관의 하단에서 파손이 확인된다.

파손부의 형태는 Fig. 6과 같이 배관이 손상된 부분을 중심으로 배관의 두께가 얇고 바깥 방향으로 변형되었으며, 외부 충격에 의한 파손이나 휘어짐은 확인되지 않는 상태로 상단부를 절단하여 내부 확인 시 다량의 녹이 확인되고, 파손된 부분의 두께는 0.168mm, 파손되지 않은 부분의 두께는 0.824mm로 측정된다.



Fig. 6 An air line failure of the mix truck

Fig. 7은 3D X-ray로 파손된 배관의 단면을 촬영한 것으로 파손된 부분에 가까워질수록 배관의 두께가 얇아지고, 파손부가 배관의 외측으로 부풀어 오른 형태로 변형된 것이 명확히 확인된다.

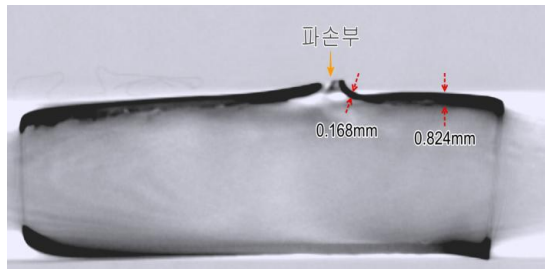


Fig. 7 3D X-ray plane of air pipe fracture

컴프레서가 압축공기를 형성하는 과정에서 공기내의 수분이 응축되어 에어 탱크를 포함한 에어 시스템 부품 및 배관에 흡착되고 부식이 발생하는 것을 방지하기 위하여 에어 드라이어가 설치되며, 에어 탱크 내에 형성되는 응축수를 빼내기 위하여 에어 탱크 하단에는 드레인 밸브(Drain valve)가 설치되어 있다. 본 믹스트럭의 드레인 밸브 분리 시 응축수는 확인되지 않았으나 파손된 배관

내부의 형성된 다량의 녹과 얇아진 파손부의 위치가 배관의 하단인 것으로 볼 때, 응축수가 배관 하단으로 이동함에 따라 파손부의 녹이 다른 부분보다 많이 형성되었을 가능성이 있다. 파손된 공기압 배관은 풋 밸브와 연결된 배관으로 제동페달을 작동 시 파손된 배관과 연결된 에어 마스터에 공기압이 전달되지 않아, 1개의 에어 마스터만이 작동되어 사고를 회피할 수 있는 충분한 제동력이 형성되지 않았을 것으로 판단된다.

3.2. 유압 배관 부식 사례

1994년식 탱크로리 살수차량이 왕복 8차로의 내리막 경사의 4차로를 주행 중 제동하지 못하여 차량 3대와 가로수를 충돌 후 좌전도된 사고가 발생하였다. 살수차는 선행하던 버스와 충돌하여 탑의 전면부와 루프(Roof)가 심하게 변형되었고 좌전도 되어 연료 탱크가 파손된 상태이나, 브레이크 시스템은 충돌로 파손 또는 변형 되지 않은 상태이다.

살수차에 적용된 브레이크 시스템 또한 콘크리트 믹스트럭에 적용된 동일한 AOH 브레이크 시스템이다. 에어 마스터와 에어 탱크 그리고 브레이크 오일 리저버는 차량의 우측 중간에 위치하고 있어 사고 시 파손 또는 손상이 발생하지 않았으나, Fig. 8과 같이 브레이크 오일 리저버의 한 구역에 오일이 모두 손실된 것이 확인되었다.



Fig. 8 A brake fluid reservoir of the sprinkler truck

살수차의 엔진시동 시 에어 컴프레서가 정상적으로 작동하여 에어 탱크의 압력이 상승하고 에어 시스템에서 누

기되는 배관은 확인되지 않았으며, 비어 있는 오일 리저버에 브레이크 오일을 보충한 후 제동페달을 작동 시 Fig. 9와 같이 2축 우측 휠에서 오일이 누유되는 상태이다. 제동페달을 반복적으로 작동 시 리저버의 보충 이전 구역의 오일이 다시 손실되었다.



(a) Before a brake oil fill-up



(b) After a brake oil fill-up

Fig. 9 An oil leakage on right wheel in 2nd axis

2축 우측 휠과 연결되는 유압 배관이 클램프(Clamp)로 차체에 고정되어 있고 클램프 내부에 위치한 유압 배관에서 누유가 발생하는 것이 Fig. 10과 같이 확인되었다.



Fig. 10 A location of the oil leakage

유압 배관에서 핀홀(Pin-hole) 형태의 파손이 확인되었고 핀홀 주변에서 유압 배관이 부식된 것이 Fig. 11과 같이 확인된다.



Fig. 11 A pin-hole and corrosion status of brake line

Fig. 12는 3D X-ray로 파손된 배관의 단면을 촬영한 것으로 유압 배관은 2겹으로 구성되어 있으며 파손된 부분에 가까워질수록 배관의 두께가 얇아지나 믹스트럭에 적용된 급속 공기압 배관과는 달리 파손부에서 부풀어 오르는 형태의 변형은 확인되지 않는다.

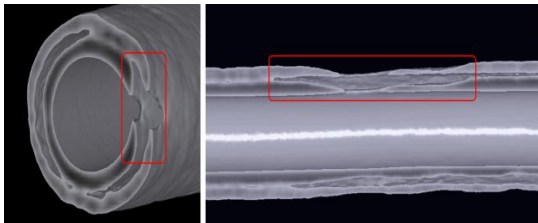


Fig. 12 3D X-ray plane of hydraulic pipe corrosion

오일 보충 전 2축 우측 휠 부분에서 누유가 확인되지 않은 것은 파손된 유압 배관의 파손 형태가 핀홀 형태로 소량의 오일이 제동페달 작동 시 누유되고 주행풍 및 이물질에 의하여 집중적으로 누유된 흔적이 형성되지 않았을 것으로 추정된다.

유압 배관과 접촉된 클램프 내부에서 특이점이 확인되지 않고 핀홀 형태의 파손부에서 압력에 의한 부풀어 오르는 형태의 변형이 확인되지 않으며 배관의 외면 재료가 떨어져 나간 형태를 갖고 있어 지속적으로 파손부 외면에 녹이 형성되고 떨어져 나가는 현상이 반복되어 핀홀 형태의 파손이 발생하였을 가능성이 있다. 또한 브레이크 라인 파손의 가장 큰 원인으로 분석되고 있는 돌 또는 이물질의 충격 및 끼임 현상이 클램프와 유압 배관사이에서 발

생하였을 가능성과 클램프와 마찰로 인해 손상된 부분이 점차적으로 부식되었을 가능성이 있다.

3.3. 공기압 호스 파손 사례

터널 내에서 2002년식 5ton 덤프트럭이 주차브레이크를 작동한 상태에서 정비하던 중 차량이 움직여 작업하던 운전자가 역과(run-over)된 사고가 발생하였다. CCTV 영상에서 운전자가 차량에서 내리고 일정시간 후 덤프트럭이 서서히 이동하여 반대편 차로 연석에 부딪히면서 정차하는 것이 확인된다. 덤프트럭은 건설자재를 가득 적재한 상태로 외관에서 파손 및 특이점은 확인되지 않으나, 엔진을 구동하여 에어 컴프레서를 작동 시 에어 탱크 압력이 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상 상승하지 않으며 압축공기가 급격히 누기되는 상태가 소리로 확인된다.

파손이 발생한 라인은 클러치 부스터(Clutch booster)와 파워 시프트(Power shift)를 연결하는 플렉시블 호스(Flexible hose)로서 Fig. 13과 같이 에어 탱크의 압력이 클러치 부스터와 파워 시프트로 나누어 입력되며, 플렉시

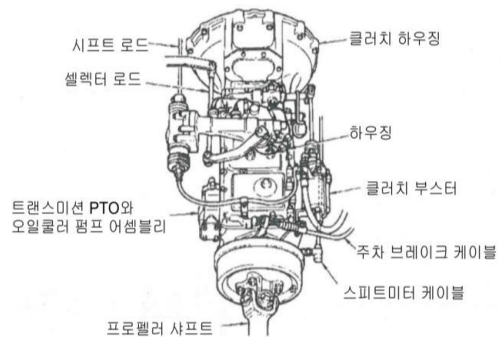


Fig. 13 An auxiliary part of the transmission⁽¹⁵⁾



Fig. 14 A burst of the flexible hose

블 호스의 파손이 발생한 위치는 클램프가 호스를 고정하는 부분으로 Fig. 14와 같이 확인된다.

플렉시블 호스의 파손형태는 Fig. 15와 같이 파손부가 호스 내의 압력에 의해 외면으로 부풀어 오른 형태로 파손되었으며, 파손부 주변에서 다수의 균열(Crack)이 확인되고, 파손부의 현미경 검사 시 외력에 의한 손상흔적은 명확히 확인되지 않는다. 플렉시블 호스의 파손 원인은 고무 재질의 경년열화에 따른 경도 상승 및 균열 발생으로 추정되나 정확한 호스 파손 원인을 규명하기 위해서는 노화 정도 및 경도 변화에 대하여 추가 연구가 필요하다.



Fig. 15 A burst pattern of the flexible hose

3.4. 유압 배관 파열 사례

1995년식 11.5ton 카고트럭이 편도 5차로의 내리막경사 도로를 주행 중 제동하지 못하여 서행 중인 차량을 충돌하는 17중 연쇄충돌 사고가 발생하였다. 카고트럭은 전면부가 충돌로 파손되었으나 각 바퀴는 파손되지 않는 상태이다.



Fig. 16 A brake oil reservoir of the cargo truck

카고트럭의 브레이크 시스템 역시 AOH 브레이크 시스템으로서 충격에 따른 파손 또는 변형된 부분은 확인되지 않으나, Fig. 16과 같이 브레이크 오일 리저버 한 구역의 오일이 모두 손실된 상태로 앞에서 언급한 살수차량 사고와 유사하다.

오일 리저버의 오일이 손실된 구역과 연결된 에어 마스터는 3축에 제동력을 형성하는 것으로 설계되어 있으며, 에어 마스터에서 전달된 오일이 Fig. 17과 같이 각 휠로 분기되는 T형 어댑터에서 오일이 누유되는 것이 확인된다.

Fig. 18은 카고트럭의 3축에 장착된 T형 어댑터로 3축 좌측 휠로 전달되는 배관의 체결부(A)에서 누유가 발생하였으며, 누유된 포트의 조임이 헐거운 상태임이 확인된다. T형 어댑터의 누유되지 않은 포트(B)의 체결부 나사산에서 녹이 확인되나 누유된 포트(A)의 나사산에서는 오일이 확인된다.



Fig. 17 An oil leakage on T type adaptor of 3rd axis

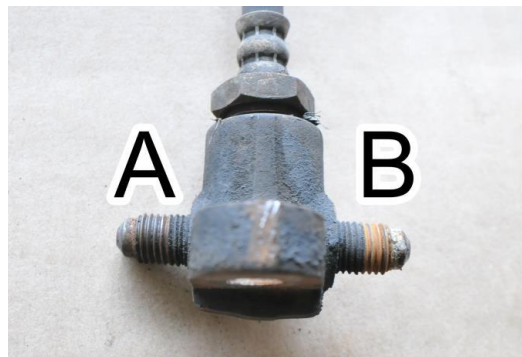


Fig. 18 T type adaptor for 3rdaxis brake fluid distribution

4. 결 론

본 연구에서는 공기 유압식 브레이크 시스템을 장착한 차량의 브레이크 라인 손상에 따른 사고사례와 각 사례에서의 배관 손상 상태에 대해 분석하였다.

대형 차량의 브레이크 라인 파손 시, 파손 배관이 연결된 휠의 제동력이 상실되어 제동거리가 늘어나 사고가 발생할 수 있으며, 대형 차량의 사고는 물적 및 인적 피해 정도가 커 대형사고로 이어진다. 브레이크 라인에 에어 컴프레서부터 에어 마스터 입력까지 공기압 배관이 적용되어 있고, 에어 마스터부터 각 휠 실린더까지 유압 배관이 차량 하부에 전반적으로 설치되어 있어 사고 조사 시 파손부를 면밀히 확인하기 위해서 압축공기를 입력하여 공기압 배관의 누기 부분과 유압 배관의 누유 부분을 확인하는 방법으로 배관의 파손부를 확인한 다음 충돌에 의한 취성과단과 노후에 의한 파손을 구분하여 사고 원인을 분석하였다.

사고사례의 차량들은 모두 운행기간이 15년 이상인 노후 차량이며, 풋 밸브로 공기압을 전달하는 배관, 에어 마스터에서 형성된 유압을 휠 실린더로 전달하는 배관, 클러치 부스터와 파워 시프트로 공기압을 전달하는 플렉시블 호스 등 파손이 발생하는 부분이 다양하고, 파손 원인 또한 배관 내 응축수에 의한 부식, 배관 외부의 손상에 의한 부식, 배관 어댑터 체결 불량, 플렉시블 호스 노후에 따른 파손 등으로 다양하다.

특히 유압 배관이 파손된 경우는 오일 리저버에 오일이 모두 손실된 것이 확인되며, 부식에 의한 파손이 발생한 배관의 3D X-ray 사진에서 파손부의 배관 두께가 매우 얇아진 것이 확인된다. 사고 조사 시에는 차량의 배관 누유와 누기를 확인하는 것이 가능하나, 사고 이전 운행 차량의 경우 배관의 두께가 매우 얇아진 상태인지, 플렉시블 호스의 균열이 심하게 형성된 상태인지 등 배관의 취약한 부분을 면밀히 확인하기 어렵고, 브레이크 라인이 SAE 규격 기준에 적합하게 설계된 경우에도 배관이 노후됨에 따라 파손이 발생할 수 있으며, 배관의 노후상태는 현재 적용되고 있는 자동차정밀검사 방법으로 쉽게 찾아낼 수 없다.

이에 따라 브레이크 오일 리저버의 각 구역마다 레벨 센서를 장착하는 방법과 같이 노후된 차량의 브레이크 라인 상태를 검사 및 진단하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 행정안전부 주관 국립과학수사연구원 중장기과학수사 감정기법연구개발(R&D)사업의 지원을 받아 수행한 연구임(NFS2018TAA01).

참고문헌

- (1) <http://taas.koroad.or.kr/>
- (2) Wildsmith, G., Ward, R., 1976, "Brake tubing corrosion—its causes, effects, and commercially acceptable elimination", SAE Transactions, pp. 1206~1221.
- (3) Clarke, R., Radlinski, R.W., Knipling, R., 1991, "Improved brake systems for commercial motor vehicles", NHTSA Technical Report, DOT HS 807 706.
- (4) Transportation Research Institute, 2003, "TIFA statistics", University of Michigan's.
- (5) National Transportation Safety Board, 2003, "Analysis of Intrastate Trucking Operation", pp. 64.
- (6) 채범석, 엄미나, 2006, "대형차 교통사고 특성과 대책에 관한 연구", 대한토목학회 학술대회, pp. 3079~3083.
- (7) Yamamoto, M., 1978, "Full-Power Parking Emergency Brakes and Fail-Safe on 4-Wheel Disc Brakes", SAE Technical Paper.
- (8) Subramanian, S. C., S. Darbha, and K. Rajagopal, 2006, "A Diagnostic System for Air Brakes in Commercial Vehicles", IEEE transactions on intelligent transportation systems 7, pp. 360~376.
- (9) Imgram, Albert G, and Donald K Miner, 1969, "Hydraulic Brake Line Corrosion: An Initial Investigation of the Problem", SAE Technical Paper.
- (10) Baboian, Robert., 1971, "Corrosion-Resistant, High-Strength Clad Metal System for Hydraulic Brake Line Tubing", SAE transactions, pp. 1117~1132.
- (11) Martin, Jennings, 1943, "Investigation of Corrosion in an Air Brake System", Proceedings of the Institution of Automobile Engineers 37, No. 2, pp. 71~86.
- (12) Xiong, X., J. Wei, and J. Chen, 2009, "Modeling, Experimentation, and Simulation of an Air-over-

공기 유압식 브레이크 라인 파손 사례 및 파손 분석 연구

- Hydraulic Brake System”, Journal of dynamic systems, measurement, and control Vol. 131, No. 3.
- (13) National Highway Traffic Safety Administration, 2016, “brake hose assemblies”, 49 Code of Federal Register 571.106.
- (14) National Highway Traffic Safety Administration, 2009, “Pneumatic brake systems”, 49 Code of Federal Register part 571.121.
- (15) 슈퍼트럭 정비지침서, 2001.