

자동차 워셔펌프의 통기구 유무에 따른 작동내구 특성 분석

이상훈*·위신환*·김성우**·김규로***

자동차부품연구원 신뢰성연구센터*·현대자동차 내구신뢰성팀**·경기과학기술대학교 메카트로닉스과***

Analysis Study on Durability Properties of Washer Pump with Vent Hole

Sanghoon Lee*·Shinhwan Wei*·Sungwoo Kim**·Gyuro Kim***

Reliability Research Center, Korea Automotive Technology Institute*

Durability & Reliability Team, Hyundai Motor Company**

The Dept. of Mechatronics Engineering, Gyeonggi College of Science and Technology***

Abstract

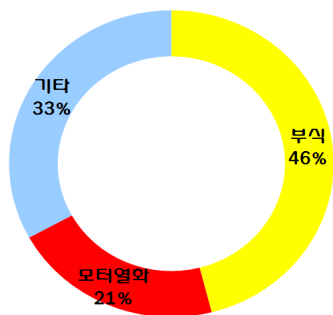
In this paper, we analyze the failure mechanism of the washer pump to find what is the failure cause in the road environment. The statistics show the field common failure mode is inner corrosion. The failure mechanism is assumed that the inner part of washer pump is corroded due to inflow of moisture through vent hole. To prevent the failure, we can think a method that is covering the vent hole. In general, the vent hole is designed to play an important role in an automobile parts. So, we need to prove the vent hole is not necessary. The first purpose of this paper is to make sure that the vent hole does not affect the durability of washer pump using the analysis of operating condition. The second purpose is to compare the durability properties if the vent hole is covered.

Keywords : Washer Pump, Washer System, Vent Hole, Failure Analysis

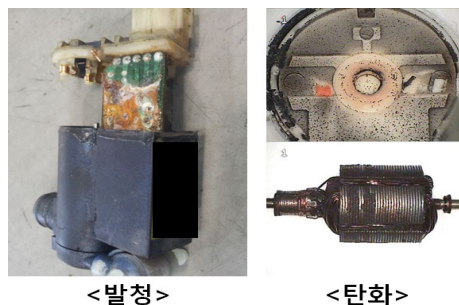
1. 서론

운전 중 시야확보는 운전자의 안전과 직결된 필수적인 부분이다. 운전 중 비나 눈, 먼지 등으로 인해 운전자의 시야가 방해받게 되면 차선이탈, 신호 미확인 등으로 이어질 수 있고 최악에는 추돌사고까지 발생할 수 있다. 그러므로 주행 중 윈드실드(Windshield)에 먼지나 이물질이 묻었는지 수시로 체크하여 윈드실드를 항상 청결하게 유지해야 한다. 이러한 기능을 수행하는 대표적인 구성부품으로 워셔펌프가 있고, 분사노즐로 워셔액을 공급하는 역할을 한다.

워셔펌프는 리저버의 아랫부분에 장착되기 때문에 지면과의 높이가 높지 않다. 그렇기 때문에 장마철 많은 비가 내리거나 침수된 도로를 지날 경우 모터 내부로 수분이 유입될 가능성이 높다. 워셔펌프의 고장은 인도지역에서 특히 높은 클레임 비율을 나타내는데, 인도지역의 배수시설이 열악해 침수가 빈번히 발생하는 환경이라는 것을 고려하면 부식에 의한 워셔펌프의 고장은 내부 수분 유입과 직접적인 연관이 있다고 판단된다. 실제로 인도지역의 워셔펌프 고장품 통계 결과를 분석해보면 부식이 46%, 모터열화가 21%로 확인할 수 있고, 주요 고장 형태는 부식에 의한 발청으로 확인할 수 있다. 부식에 의한 발청은 주로 워셔펌프 내부의 모터 로우터, 베어링, 회로기판에서 발생하기 때문에 워셔펌프의 고장메커니즘은 내부 수분 유입에 의한 것이라 할 수 있다. 워셔펌프는 항상 외부환경에 노출되어 있기 때문에 내부 공기 순환을 위한 통기구(Vent Hole)를 제외하면 기본적으로 밀폐된 구조를 취하고 있다. 이러한 이유로 만약 모듈 내부로 수분이 유입된다면 그 경로는 통기구 밖에 없다고 추정할 수 있다.



<그림 1> 필드클레임



<그림 2> 워셔펌프 대표 고장 현상

문제는, 대한민국의 기후가 점차 국지성 호우가 많아지는 추세이고, 서울 시내를 비롯한 많은 곳에서 도로 침수가 빈번히 발생하고 있다는 것이다. 이로 인해 인도지역과 마찬가지로 국내 환경에서도 워셔펌프의 필드 고장 발생률이 점차 높아질 것으로 예상된다. 하지만 위와 같은 워셔펌프의 고장메커니즘에도 불구하고 통기구를 막을 경우 모듈 내부 온도 및 압력 변화에 의한 추가 고장모드가 나타날 우려가 있기 때문에 통기구를 함부로 막을 수 없는 실정이다. 실제로 밀폐된 구조에서 내외부 온도 및 압력 차이를 없애기 위해 통기구를 구성하는게 일반화 되어 있고, 통기구가 부품의 상태를 보다 안정하게 하는데 큰 역할을 한다고

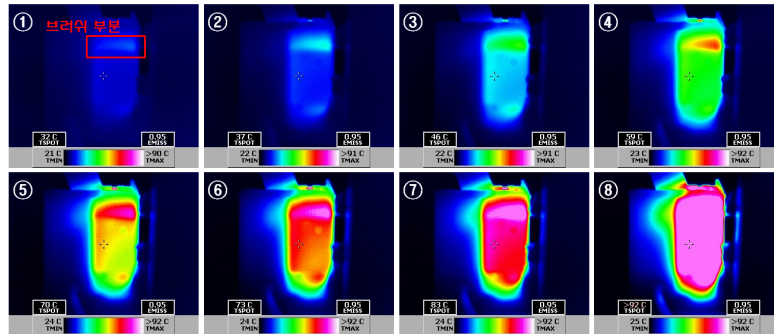
산업계에서는 인식하고 있다. 하지만 워셔펌프 특성상 드문 사용 주기와 짧은 작동 시간을 고려하면 내부 온도 및 압력에 의한 영향은 무시할 수 있는 부분이기 때문에 부품 상태에 이상이 생기거나 추가 고장모드를 발생시키는 역할을 하지는 않을 것이라 추정할 수 있다. 이에 본 논문에서는 워셔펌프의 필드고장 중 부식고장에 초점을 두어 통기구의 필요성을 검토하고 통기구를 막을 경우 발생할 수 있는 상태조건들을 근간으로 통기구 유무에 따른 작동내구 특성 및 수명을 분석하여 결과적으로 필드클레임 비율을 줄일 수 있는 방안에 대해 연구하고자 한다.

2. 본론

2.1 워셔펌프의 작동 특성 분석

2.1.2 내부 발열 분석

필드에서 사용하는 대부분의 워셔펌프는 브러쉬 타입의 직류모터를 사용하고 있기 때문에 모터가 작동하게 되면 브러쉬 부분에서부터 높은 열을 발생시켜 모듈 전체로 퍼지는 특성을 갖고 있다. <그림 3>은 워셔펌프를 작동 시켜올 때 내부 발열이 어떻게 진행되는지 보여주는 열화상 분석을 보여주고 있다.

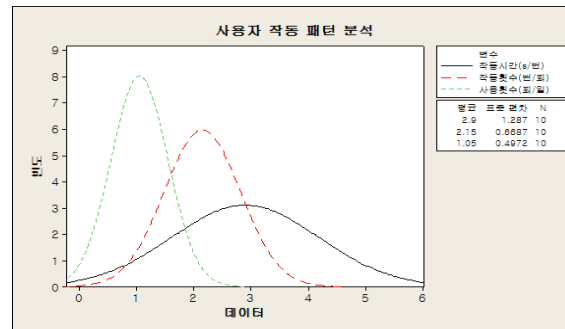


<그림 3> 워셔펌프 내부 발열 특성

밀폐형 구조 안에서 발생하는 열은 워셔펌프 내부의 온도와 압력을 상승시키는 직접적인 요소가 되기 때문에 적절한 환기를 통해 내부 온도와 압력을 조절할 수 있어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대표적 방법은 적절한 크기의 통기구를 구성하는 것이며, 이것을 통해 워셔펌프의 내외부 차압을 없애고, 내부 온도를 냉각시키는 것이다.

2.1.2 사용자 작동 패턴 분석

주행 중 워셔펌프의 운전자 사용 패턴을 조사해 보면 <그림 4>와 같다. 설문 대상은 하루 평균 30분 이상 주행하는 운전자 10명을 대상으로 하였다.



<그림 4> 사용자 작동 패턴

일반적인 운전자의 워셔펌프 사용 패턴을 보면, 한번 작동시킬 때 평균 2.9초 작동시키고, 1회 사용 시 2.1번 분사하며, 하루에 1.1회 사용하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 하루에 총 6초 정도의 짧은 시간을 작동하기 때문에 워셔펌프의 내부 온도 및 압력이 순간적으로 변할 만큼 발열하지 않는다. 또한, 발열로 인하여 내부 온도가 높아지더라도 외부에 노출되어 장착되기 때문에 통기구에 의한 냉각보다는 외기에 의한 하우징 표면 냉각이 더 큰 역할을 할 것이라 예상된다. 요약하면, 워셔펌프의 통기구는 일반사용조건을 고려했을 때 기능적으로 큰 역할을 하지 않는다고 판단할 수 있다.

2.2 내구 시험 모델링

2.2.1 내구 시험 방법 정의

작동내구 특성은 시료 상태에 따라 기능적 성능과 고온 환경에서의 이상 유무 등을 비교하여 최종 내구수명차이가 어떻게 나타나는지 확인하는 것으로 한다. 시험 시 시료는 실차 상태와 동일하게 리저버에 연결하여 온도사이클이 가능한 시험 장치에 장착한다. 그리고 시료 상태는 통기구 유무로 구분한다. <그림 5>는 시험장치 구성을 보여준다.



<그림 5> 워셔펌프 작동내구 특성 분석 시험 장치

온도조건은 상온과 고온(65℃)을 반복하도록 설정하고, 각 시료는 1초 동작, 3초 정지 조건으로 작동시킨다. 전체 시험 장치는 워셔액이 워셔펌프에서 토출되어 압력계를 통과한 뒤 다시 리저버로 순환되도록 구성한다. 또한, 워셔펌프의 전압강하 및 돌입전류 등의 전기적 특성을 분석하기 위해 전류 값도 함께 계측한다.

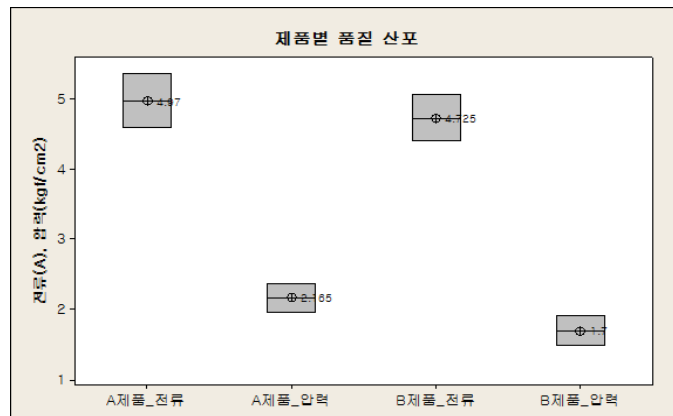
2.2.2 내구 시험 조건의 타당성 제시

본 논문에서 제시한 시험 조건의 타당성을 검증하기 위해 워셔펌프 관련 기준 및 표준을 참고하였다. 기준 및 표준의 시험 항목 중 내구 성능을 평가하는 부하내구시험은 저온과 고온을 순환하는 온도조건에서 작동과 정지 과정을 반복함으로써 토출 성능 및 작동 유무를 확인하는 시험이다. KS 표준의 부하내구시험을 참고하면, 저온 조건은 -12℃, 고온 조건은 65℃로 설정한 뒤 5초 동작, 27초 정지 조건으로 워셔펌프를 작동시킨다. 본 논문에서 초점을 두고 있는 것은 워셔펌프의 정량적인 내구 수명이나 성능이 아닌 통기구 막음에 따른 내부 온도 및 압력 증가로 내구 특성이 저하되는 현상을 검증하는 것이기 때문에 보다 가혹한 조건에서 온도와 압력이 두드러지게 영향을 끼칠 수 있도록 작동 조건을 설정하였다. 즉, 상온과 고온을 순환하는 온도사이클 환경에서 1초 동작, 3초 정지로 작동시킴으로써 통기구를 막은 시료와 안막음 시료의 내구 특성 비교를 빠르게 확인 할 수 있도록 설정하였다.

2.3 시험 결과

2.3.1 워셔펌프 제품별 품질 산포 분석

통기구 유무에 따른 작동내구 특성 분석을 수행하기에 앞서 시험 대상 시료로 선정된 제품의 품질산포 및 작동성능이 어떠한지 확인하기 위해 토출 성능 시험을 수행하였다. 대상 시료는 제조사가 다른 두 제품으로 선정하였고, 두 제품 모두 토출구가 2개인 양방향 형태이다. 시험 조건은 상온에서 2분간 연속작동 시키는 것이고, 시험 시 전류값 및 토출압을 계측하여 각각 8개씩 동일한 제품의 토출 성능 편차를 비교하였다.



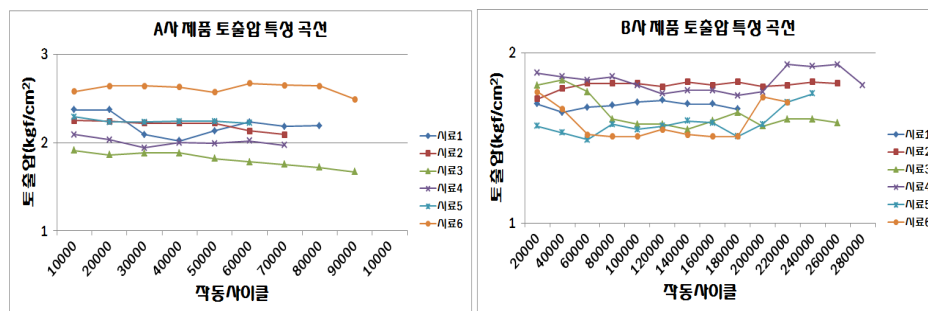
<그림 6> 워셔펌프 대상시료 품질 산포

시험 결과 분석 시 초기 안정화 시간을 고려하여 안정구간을 정하였고, 안정구간 내에서 토출 성능 시험 결과를 비교해보면, A사 제품의 안정구간에서의 평균 전류값 및 토출압은 5.0A, 2.2kgf/cm² 으로 나타났고, B사 제품의 안정구간에서의 평균 전류값 및 토출압은 4.7A, 1.7kgf/cm²로 나타났다. 두 제품 모두 평균에서 10% 내의 토출압 성능 편차를 나타내고 있고, 작동 기능상 아무런 문제가 없기 때문에 통기구 유무에 따른 내구 특성 분석 시 품질 산포에 대한 영향은 무시하도록 한다.

2.3.2 통기구 유무에 따른 내구수명 분석

2.2.1에서 정의한 바와 같이 1초 작동, 3초 정지의 조건으로 작동 조건을 설정하였고, 수명 판단 기준은 토출압이 0이 되는 시점으로 정하였다. 시료는 제조사가 다른 두 제품에 대하여 통기구를 막은 시료와 안막음 시료로 구분하여 내구수명시험을 실시하였고, 시험 중 작동내구 특성을 2Hz로 계측하여 워셔펌프의 수명과 함께 내구성능 변화 여부를 확인하였다. 시험결과로부터 얻어진 수명 데이터는 수명분포 해석을 위해 신뢰성 통계 프로그램인 MINITAB으로 결과 분석을 수행하였다.

작동사이클에 따른 워셔펌프 성능 열화 추세를 확인하기 위해 각 시료의 고장발생 전까지 일정 사이클 간격으로 토출압을 측정하여 성능 특성을 분석하였다.

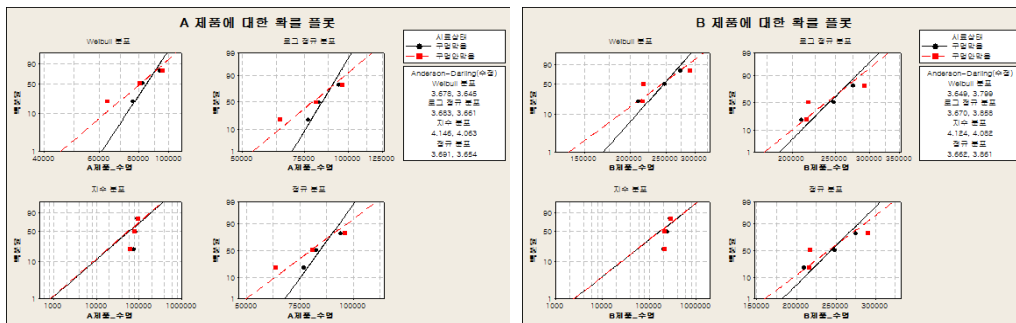


<그림 7> 워셔펌프 토출압 특성 곡선

<그림 7>의 A사 제품 특성 곡선을 보면, 전체적으로 작동사이클이 증가할수록 토출압이 떨어지는 추세로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 시료 1, 2, 3의 토출압 곡선과 시료 4, 5, 6 곡선의 열화 추세는 큰 차이가 없는 것으로 나타난다. B제품 또한 같은 결과를 보여 준다. B제품 중 시료 4, 6의 작동사이클 후반부에서 압력이 급격히 올라가는 추세를 볼 수 있는데, 이는 모터 성능 열화에 의한 고전류 현상이 발생하여 나타나는 것이다. 본 연구에서는 안정화 상태에서의 특성이 관심영역이기 때문에 고장 전 나타나는 고전류 현상은 무시한다. 특성 곡선을 통해 고장발생 전까지는 일정한 토출압 범위를 유지하여 작동하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 작동사이클이 가혹한 조건임에도 불구하고 신뢰성 기준에서 제시하는 보증 수명 기준을 충분히 만족시키는 내구 특성을 나타냈다. 작동 사이클 동안 통기구 유무를 구분할 수 있는 구조적인 변형이나 기능적/성능적인 특성 차이는 나타나지 않았다. 신뢰

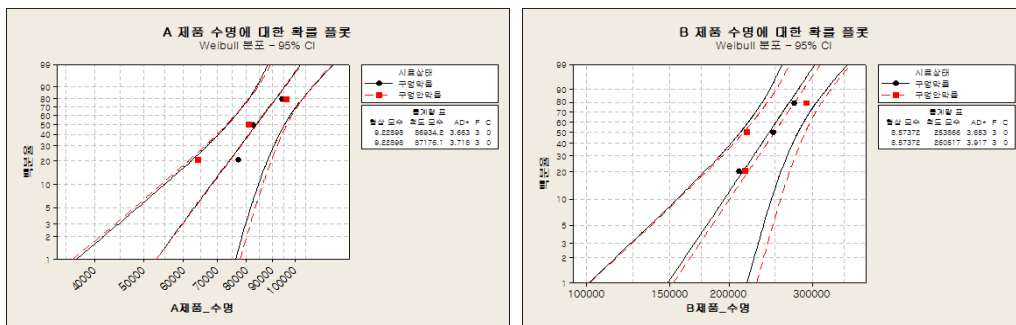
성 기준에서 시료의 정상품 판단 조건으로 가장 우선시 하는 것은 기능상 이상유무인데, 위의 12개 시료 모두 이에 만족하는 결과를 나타내었다. 즉, 각 시료는 통기구 유무에 관계없이 내구저하에 따른 마모고장이 발생하는 것이다.

토출압 특성 분석에서 얻은 결과를 검증하기 위하여 통기구 유무에 따른 성능 분포 분석을 수행하였고, 그 과정은 아래와 같다. <그림 8>은 결과데이터 분석에 앞서 수명분포의 적합성을 검토하기 위한 분포 ID 플롯을 나타낸다.



<그림 8> 위셔펙프 수명분포 적합성 검토

수명 분포의 적합성은 Anderson Darling(AD) 값을 사용하여 판단하였고, 위 결과에서는 Weibull 분포가 가장 적합하다는 결과를 얻었다. 이러한 결과를 토대로 통기구 유무에 따른 수명 데이터를 동일 형상모수로 Weibull 분포 분석을 수행하면 <그림 9>과 같은 그래프를 도출할 수 있다.








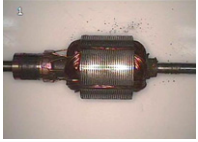
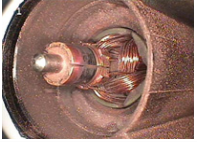


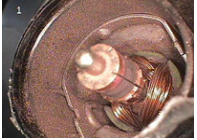


<그림 9> 동일 형상모수에 대한 위셔펙프의 수명 분포

그래프 상의 검은색 데이터는 통기구 막음 시료를, 붉은색 데이터는 안막음 시료를 나타낸다. 동일한 형상 모수에 대해 각 제품별 통기구 유무에 따른 시료의 척도모수가 A시료의 경우 86934(유)/87176(무)로 나타났고, B 시료의 경우 253866(유)/260517(무)로 나타났다. 두 제품에서 모두 대체로 동일한 척도모수를 나타내고 있기 때문에 통기구 유무에 대한 내구수명이 동일함을 증명할 수 있다.

위의 시험으로 얻은 각 제품 및 상태가 다른 4개의 고장시료를 분해하여 분석한 결과가 아래와 같다.

<표 1> 작동특성 내구 시험 후 고장 상태 분석

A사 제품	통기구 막음			
	통기구 안막음			
B사 제품	통기구 막음			
	통기구 안막음			

각 시료는 제조사와 통기구 상태가 각각 다른 시료였지만 고장모드는 모두 동일하게 브러쉬 마모에 의한 고장으로 추정된다. 내부 온도 및 압력 변화에 의한 모터 탄화나 하우징 녹음과 같은 추가적인 고장모드는 발견되지 않았고, A사 안막음 시료에서 브러쉬 고정 스프링이 파단되는 현상을 발견하였지만 이 또한 내구 저하에 따른 파단으로 예상된다. 고장분석 결과, 일반사용조건보다 가혹한 조건임에도 불구하고 통기구에 따른 영향은 발견되지 않았고, 우발고장을 발생시키거나 마모고장을 촉진시키는 현상도 발견할 수 없었다. 즉, 통기구 유무는 워셔펌프의 내구 특성에 큰 영향이 없다고 판단된다.

3. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 부식을 유발하는 고장모드가 내부 수분 유입이라 판단하였고, 고장메커니즘은 통기구를 통한 수분 유입이라고 분석하였다. 때문에 워셔펌프의 통기구를 막는 것이 필드 클레임을 줄일 수 있는 하나의 방법이라고 추정하였다.
- 2) 사용자 작동 패턴을 분석한 결과 실제 필드에서는 워셔펌프의 내부 온도 및 압력을 크게 변화시킬 정도의 작동조건이 아니기 때문에 통기구의 역할이 크게 중요하지 않다고 판단하였다.

- 3) 통기구 막음 시료와 안막음 시료의 작동내구 시험 결과 기능적/성능적인 특성 차이는 확인되지 않았고, 우발고장을 발생시키거나 마모고장을 촉진시키는 현상도 발견할 수 없었다. 즉, 통기구를 막더라도 내구성능 저하 혹은 추가 고장모드 발생이 없다고 판단하였다.
- 4) 본 연구에서 제시한 시험조건은 워셔펌프의 내부 고온에 의한 영향에 초점을 두었기 때문에 상온과 고온만 고려되었다. 하지만, 국내 기온 특성상 저온 환경에서의 특성 차이도 고려할 필요가 있기 때문에 저온을 고려한 추가 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 신뢰성 용어 해설서, 기술표준원, 2005
- [2] 승용차용 전기식 앞면 유리 워셔, 산업자원부 기술표준원, RS R 0105, 2006
- [3] General Specification for electrical/Electronic Component, GMW3172, 2004