

부산도시철도 2호선 스크류공기압축기 유지관리 사례연구

Busan Urban Railway Line 2 Screw Air Compressor Maintenance Case Study

정승원*, 변증환*, 남태근**, 조정봉***

Seung Won Jeong*, Jeung Hwan Byeon*, Tea Keun Nam**, Jeong Bong Jo***

초 록 부산도시철도 2호선 전동차는 철제차륜형식 중량전철 차량으로 6칸 1개 편성으로 운영하고 있다. 후부차에 설치되어 있는(※ 선두차 무급유공기압축기) 스크류방식 공기압축기는 흡입 공기를 압축하는 에어엔드 압축부와 에어엔드 회전 동력을 전달하는 전동기 동력부, 공기/오일 냉각 기능의 냉각부로 구분된다. 전동차 운영 중에 발생한 공기압축기 이상 현상은 누유, 냄새, 소음, 과열 등이 있으며, 특히 여름철 과열 시 오일 변색을 동반한 냄새가 발생하였다. 스크류공기압축기는 제동장치 압축공기 생성을 위하여 부품의 신뢰성 및 기능을 확보하도록 소모품 교체 및 특성 관리를 통해 중점 관리 할 필요가 있다. 본 연구는 스크류공기압축기 이상 현상에 대한 원인과 개선 대책을 공유하여, 향후 철도 차량 공기압축기의 유지보수에 참고 자료로 활용되기를 기대한다.

주요어 : Screw Air Compressor, Air end unit male and female rotor , Air/Oil Cooler

1. 서 론

부산도시철도 2호선 전동차는 철제차륜형식의 중량 전철 차량으로 6칸 1량으로 1999년 6월부터 운영되고 있으며 현재 선두차 무급유 공기압축기와 스크류공기압축기가 취부되어있다.

스크류공기압축기 운영 중 냄새, 소음, 과열, 누유 등의 이상현상이 나타났다. 특히 여름철 온·습도 상승 영향으로 과열을 동반한 냄새가 발생하여 차량고장 및 민원의 소지가 있다.

또한, 스크류공기압축기는 제동장치의 압축공기를 생성하므로 부품의 신뢰성 향상 및 기능 확보를 위해 소모품 교체, 특성 관리 등 수명에 영향을 미치는 요소에 대해 중점 관리할 필요가 있다.

본 연구에서는 2호선 전동차의 스크류공기압축기 이상 현상에 대한 원인과 개선 대책을 공유하여, 향후 철도차량 공기압축기의 유지보수에 참고 자료로 활용되기를 기대한다.

2. 본 론

2.1 스크류공기압축기

2.1.1 스크류공기압축기 구성

부산도시철도 2호선 전동차는 6칸 1개 편성으로 후부차1대의 스크류공기압축기(그림1)로 설치되어 있고 선두차에 수명이 다한 스크류공기압축기를 대체한 무급유공기압축기가 설치되어 있다.

스크류공기압축기는 흡입된 공기를 압축하는 압축부(에어엔드유닛)와 에어엔드유닛의 회전 동력을 전달하는 동력부(전동기), 공기/오일 냉각 기능의 냉각부로 크게 구분되고, 그 외 공기/기름탱크, 공기/기름여과기, 기름 분리기 등으로 구성(그림2)되어 있다.



Fig. 1 스크류공기압축기 위치



Fig. 2 스크류공기압축기 외관

* 부산교통공사 호포차량사업소 정비부

** 부산교통공사 호포차량사업소 정비부장

*** 부산교통공사 호포차량사업소장

2.1.2 스크류공기압축기 작용

압축공기 생성(그림3, 표1)을 위해 전동기(1)가 기동 되면 플렉시블커플링(10)을 통해 에어엔드유니트(4)는 구동되면서, 공기여과기(6)를 통해 흡입밸브(11)을 거쳐 에어엔드유니트(4)로 흡입된다.

공기/기름탱크(3)의 바닥에 고인 기름(2)은 흡입 공기(6)와 혼합되어 스크류에 주입된다.

압축공기와 혼합된 기름은 1차 분리 역할을 하는 탱크(3)로 전달된다. 분리된 기름은 온도조절밸브(7) 방향으로 흘러, 72℃ 이하일 경우 기름여과기(8)를 거쳐 에어엔드유니트(4) 방향으로 흐른다. 72℃ 이상일 경우 온도조절밸브는 개방되어 기름냉각기(17)로 흘러 냉각기 팬(16)에 의해 냉각되어 기름여과기(8)를 거쳐 에어 엔드유니트(4) 방향으로 흐른다.

압축공기의 잔유 기름을 최종 분리 하기 위해 기름분리기(2)에 유입되고 분리된 기름은 오일 회수파이프(19)를 거쳐서 에어엔드유니트(4)에 반송되며, 압축된 공기는 배기밸브를 통과해 공기/기름냉각기(17)의 냉각과정 후 제동장치로 공급된다.

그 외 안전밸브(14)는 과부하 압력 발생 방지를 위해 배출구 경로에 설치되어 있으며, 진공표시기(15)는 공기여과기(6)의 오염 상태를 감지하고, 공기압축부 에어엔드유니트(4)에서 나온 기름온도는 온도계(5)에서 감지되며, 온도계 115℃ 이상일 경우 전동기를 정지시킨다. 탱크(3)의 기름 높이는 유면계(18)에 의해 시각으로 확인되며, 기름 주입은 주입구(20), 배출은 배출구(12)를 통하여 이루어진다.

공기압축기 기동/정지는 설정된 압력에 의해 전자밸브에 의한 제어를 통해 여자 시 압축공기를 제동장치 방향으로 공급하며, 설정된 압력에 도달 시 전자밸브는 소자 되어 공기압축기는 기동 정지된다.

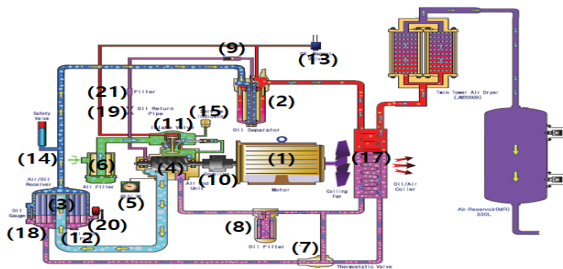


Fig. 3 작용 흐름도

1	전동기	12	배유플러그
2	기름분리기	13	배기전자밸브
3	공기/기름탱크	14	안전밸브
4	에어엔드유니트	15	진공표시기
5	온도계	16	팬
6	공기여과기	17	공기/기름 냉각기
7	온도조절밸브	18	유면계
8	기름여과기	19	오일회수파이프
9	체크밸브	20	기름주입구
10	플렉시블커플링	21	여과기
11	흡입밸브		

Table. 1 부품명

2.2 스크류공기압축기 이상현상

2.2.1 발생현황

일상검사(5일 주기)시 기동 된 스크류공기압축기 상태 검사 중 냄새, 과열 등이 확인되어 교환 조치를 하였으며, 최근 5년 고장은 표2,3,4와 같다.

최근 5년 스크류공기압축기 고장 건수는 증가추세이며, 특히 하절기[7~9월 42건 (58%)] 중 '23~24년 고장 건수가 가파르게 상승 하였다. (표2)

구분	계	'20 년	'21 년	'22 년	'23 년	'24 년
건수	74 건 (42 건)	10 건 (3 건)	10 건 (6 건)	8 건 (3 건)	24 건 (12 건)	22 건 (18 건)
고장 추이	<p><전체></p>		<p><하절기></p>			

Table. 2 연도별 고장건수

전체 고장(누유>냄새·소음>변색>기타) 대비 냄새, 소음 발생은 28건(39%)이며, 하절기(7~9월) 20건(71%)이 발생(냄새>소음) 하였다. (표3)

구분	계	누유	냄새	소음	변색	기타
건수	74 건 (42 건)	31 건 (13 건)	14 건 (11 건)	14 건 (9 건)	7 건 (6 건)	8 건 (3 건)
고장 추이	<p><전체></p>		<p><하절기></p>			

Table. 3 유형별 고장건수

2024년 과열, 냄새 등 이상 현상 전체 고장이 하절기에 집중되었다. (표4)

고장유형	교환조치	비고
냄새, 소음, 과열, 누유	21 건	하절기(7~9월) 집중

Table. 4 2024 년 고장 현황

2.2.2 고장원인 및 유형별 조치

- 부품별 고장원인은 부품의 이상마모, 내부 변색 된 오일 흡착 등이며 표5와 같다.

부품명	원인	영향
에어엔드유니트	로우터·베어링 마모, 오일 흡착	소음,과열
공기/오일 냉각기	모세관 변색 오일 흡착	과열,냄새
공기/오일 탱크	높은 주변 온(습)도 시 오일 변색	과열,냄새
공기여과기	먼지 흡착	과열,냄새
온도조절밸브	온도조절밸브 불량	과열,냄새
배관	변색 오일 흡착	과열,냄새

Table. 5 유형별 고장원인

- 고장유형별 원인은 부품의 이상마모, 내부 변색 된 오일 흡착 외 주변 높은 온(습)도 등이며 표6과 같다.

유형	원인	조치
냄새	압축기 과열 시 냄새(오일 산화) 동반	-
소음	오일 부족 시 에어엔드 로우터 마찰	오일 보충
	에어엔드 베어링 손상 시	베어링 교환
과열	높은 주변 온(습)도 시	-
	오일 변색·부족 시 냉각 기능 저하	오일 교환
	에어엔드의 로우터, 베어링 등 마모 시 마찰 증가	부품 교환
	냉각기모세관이 막히거나 오일 흡착 시	세척
	에어필터 막히거나 먼지 흡착 시	필터 교환
누유	로우터 마모시 케이싱 내부 압력 증가	부품 교환
	냉각 저하 시 온도상승 케이싱 압력 증가	세척
	가스킷, 오일씰 불량, 느슨한 배관 연결	부품 교환

Table. 6 유형별 고장원인

2.2.3 고장영향 분석

스크류공기압축기 이상 현상은 누유, 냄새, 소음, 과열 등이 있으며, 특히 여름철 과열 시 오일 변색을 동반한 냄새가 발생하였다.

2.3 스크류공기압축기 고장분석

2.3.1 압수로우터 및 케이싱실린더 마모

- 발생원인

압수로우터와 케이싱실린더의 정상·비정상적 마모는 그림4,5와 같이 소음, 과열 등 이상 현상이 발생한 에어엔드유니트를 분해한 결과, 로우터와 실린더에 긁힘과 파임이 있거나 변색 오일 흡착에 의한 과열이 있었다.

원인으로 주로 장기 사용품 중 오일 불순물에 의한 오일 변색 흡착, 기어 맞물림 불량(샤프트 변형)에 따른 베어링 품질 저하, 공기필터 흡입 저하(토출량 저하 발생)가 발생하였다.

또한, 불량 압수로우터에 부착된 베어링 상태는 그림6과 같이 레이스 활주면이 일정하지 않거나 과열 흔적이 있었다.

원인으로 오일 장기 사용, 오일 부족, 오일 변색 등이 있었으며, 8개월 주기 오일 교환 및 수시 오일 보충을 하고 있으므로 오일 변색에 의한 내부 흡착이 심화되어 과열 및 소음이 발생한 것으로 판단된다.

압수로우터의 기어 맞물림 불량, 변색오일 흡착 등으로 베어링 불량과 함께 소음, 과열(여름철 과열에 따른 냄새 동반)이 있었으며, 케이싱 압력 상승으로 누유의 원인으로 추정된다.

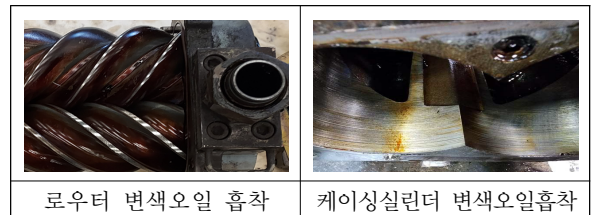


Fig. 4 정상 마모

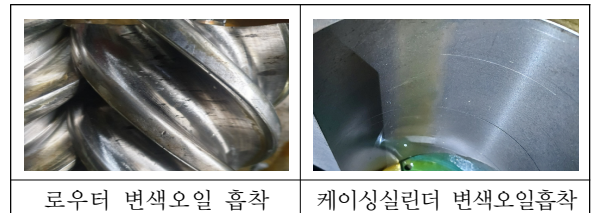


Fig. 5 비정상 마모

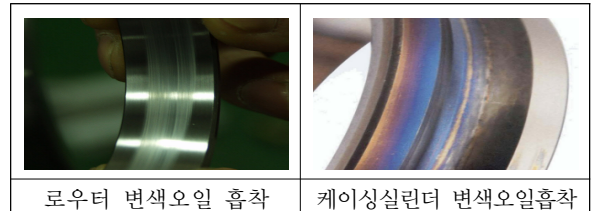


Fig. 6 베어링 불량 사례

- 방지대책

고장 영향을 미치는 장기 사용 압수로우터의 맞물림 불량(진동, 소음 등)과 변색 오일 흡착에 의한 불량(과열, 냄새, 누유 등)은 그림7과 같이 주기적 점검 시 로우터 마모 교체 관리, 베어링 주기 교환, 변색 오일 흡착물 제거 등이다.

			
수선 전	커버 취거	로터 마모 확인	실린더 마모 확인
			
세척	베어링 취거	베어링 교체	썰 교환

Fig. 7 에어엔드유닛 점검 표준화

2.3.2 공기/오일 냉각기 냉각효율 저하

발생원인공기/오일 냉각기(그림8)는 공기/기름탱크로부터 오일온도 72℃ 이상일 경우 온도 조절밸브는 개방되어 오일 냉각 기능과 압축된 공기를 냉각 후 제동장치로 공급하는 기능의 장치이다.

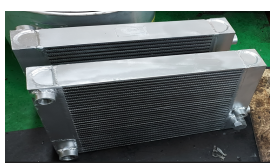

	
냉각기 외관	공기/오일 냉각부

Fig. 8 공기/오일 냉각기

냉각효율 저하에 따른 과열의 원인으로 공기/오일 냉각기 내부(단면)을 조사한 결과 그림9와 같이 협소한 오일 이동 경로인 모세관 내 다량의 오일 흡착으로 냉각 기능이 저하되었음을 확인하였다.

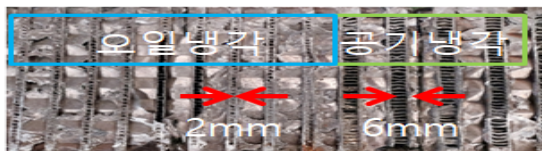


Fig. 9 공기/오일 냉각기 단면

○ 방지대책

냉각기 냉각 효율 저하는 주변 온·습도 상승(여름철) 시 과열이 심화되어 냄새 발생의 원인이 되므로 냉각기를 포함한 각종 부품 내부의 완벽한 세척이 필요하다.

세척 대상 부품(그림10)으로 에어엔드유닛 등 4종을 선정하여 전문업체로 하여금 세척 후 1년간 영업운행 차량의 오일 변색을 확인 결과 양호(그림11)한 결과를 확인하였다.





			
에어엔드유닛	공기/오일 냉각기	공기/오일 탱크	배관

Fig. 10 내부 세척 대상 부품 선정

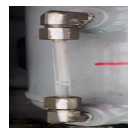

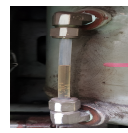

			
12 편성 (6 개월)	33 편성 (5 개월)	4 편성 (4 개월)	5 편성 (2 개월)

Fig. 11 변경 오일 변색 경과

2.3.3 여름철 과열, 냄새 예방 사례 검토 적용

여름철 장기사용 스크류공기압축기의 과열, 냄새 발생에 따른 운행 장애 및 민원의 우려가 있어, 동종 유관기관의 정비 사례를 조사하여 과열, 고압 등에 견디는 기존 오일 대비 우수한 기능의 오일과 정기 검수 시 육안 점검이 수월한 정비 방법을 검토하였다.

검토 결과 오일 제작사의 변경 오일에 대한 성능과 기존 사용 중인 오일과의 호환성 테스트 결과 등의 분석을 토대로 변경 적용하였으며, 또한 오일 유면계의 오일 변색 시인성 개선을 위해 내산·내열에 변색·변형이 없는 투명 재질로 변경 적용(그림12)하였다.

			
변경 전 오일	변경 후 오일	변경 전 유면계	변경 후 유면계

Fig. 12 변경 오일 변색 경과

2.3.4 기름분리기 잔류 오일 배출 코크 설치

기름분리기(Oil Separator)는 압축공기의 잔류 기름을 최종 분리를 하는 장치로써 부산 2호선 차량의 스크류방식 공기압축기는 기름분리기의 파손을 대비해서 하우징 내에 있으나, 파손 여부를 확인 할 방법이 필요하였다.

그림13과 같이 기존 기름분리기에 잔류 오일 배출코크를 설치 함으로써 표7과 같이 기존 대비 신속한 조치를 위해 오일 부족·변색 방지 및 기름분리기 외함 파손 여부 확인이 가능하도록 정비 방법을 개선하였다.

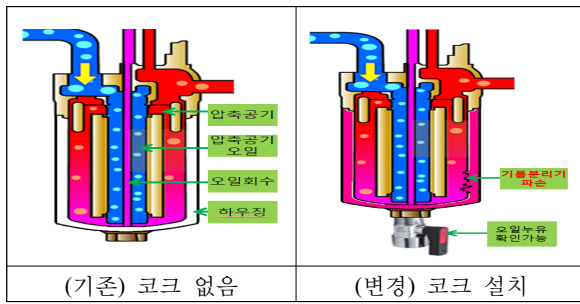


Fig. 13 변경 전후 오일 및 유면계

기 존	개 선
월상검수 시 확인 불가 (월상 3 주기 교환)	일상검수시 확인 가능 (코크 개방하여 누유 확인)

Table. 7 개선 전후 정비방법 비교

3. 결 론

본 연구는 전동차용 스크류공기압기 차량의 누유, 소음, 과열, 냄새 등 고장 예방을 위한 유지관리 사례에 대해서 고찰하였다.

장기 사용 스크류공기압축기의 유지관리 사례 고찰 시 에어엔드 암수로우터, 베어링 수명은 조립 시 로우터 간격 및 오일과 상관관계가 매우 크며, 특히 주행 중 소음, 누유 발생은 암수로우터 맞물림 상태가 중요 변수로 고찰되었다.

향후 지속적인 모니터링 데이터를 축적하여 스크류공기압축기 유지보수에 유용한 데이터로 활용되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] 부산교통공사 『정비지침서』 10.2 주공기압축기
- [2] 서울교통공사 『5 호선 주공기압축기 장애예방 특별대책(안)』