

## 7,8호선 전동차 주공기압축기 오일 교체주기 도출에 관한 연구

**A Study about the Proper Replacement Cycle Derivation  
of the Train Main Compressor Oil of SMRT Lines 7&8**

이영교\*, 구정서\*†, 남성원\*\*

Young-Kyo Lee \*, Jeong-Seo Koo \*†, Seong-Won Nam \*\*

**Abstract** A screw air compressor of Seoul Metropolitan Rapid Transit 7,8 line train is an important and indispensable device, which is used door control and the brake system to operate the train. During using a main air compressor oil replacement of being discontinued oil production, it has brought discomfort to the passengers due to the occurrence of continued failures and discolored oil with the destruction of permanent oil character. Therefore, in this study, we are going to make sure about the cost reduction of maintenance and the prevention of train failures to derive the proper replacement cycle through test analysis of the replacement cycle of the main air compressor oil's components of 7,8 line train.

**Keywords :** Air compressor, Oil, Discoloration

**초 록** 서울도시철도 7,8호선 전동차의 스크루 공기압축기는 출입문 제어, 제동장치 등에 사용되는 전동차 운행에 있어 없어서는 안 될 중요장치이다. 주공기압축기 오일의 단종 대체품을 사용중 유성과괴 변색현상과 지속적인 고장 발생에 따른 승객에게 불편을 초래하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 7,8호선 전동차의 주공기압축기 오일의 성분과 교체 주기에 대한 시험분석을 통해 적정 교체주기를 도출하여 유지보수 비용절감과 전동차 고장 예방에 만전을 기하고자 한다.

**주요어:** 주공기압축기, 오일, 변색

## 1. 서 론

전동차 운행 중 주공기압축기 고장이 발생하게 되면 치명적인 고장으로 이어져 전동차는 더 이상 영업운행을 할 수 없게 되고 운용변경되어 기지로 입고하게 된다. 이렇게 전동차를 운행하는데 반드시 필요한 주공기압축기 고장의 다수가 오일 유성과괴 변색현상과 과온, 냄새 등으로 인한 고장이 발생되고 있다. 지속적으로 발생하고 있는 주공기압축기 고장을 방지하기 위하여 정기 및 특별점검을 시행하고 있으나 적정 오일 교체수명 등을 포함한 자료 분석방법의 부족으로 고장 예방에 큰 부담이 되고 있는 것이 현실이다.

† 교신저자: 종신회원, 서울과학기술대학교, 교수(koojs@seoultech.ac.kr)

\* 정회원, 서울도시철도공사, 도봉차량사업소, 차장

\*\* 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원

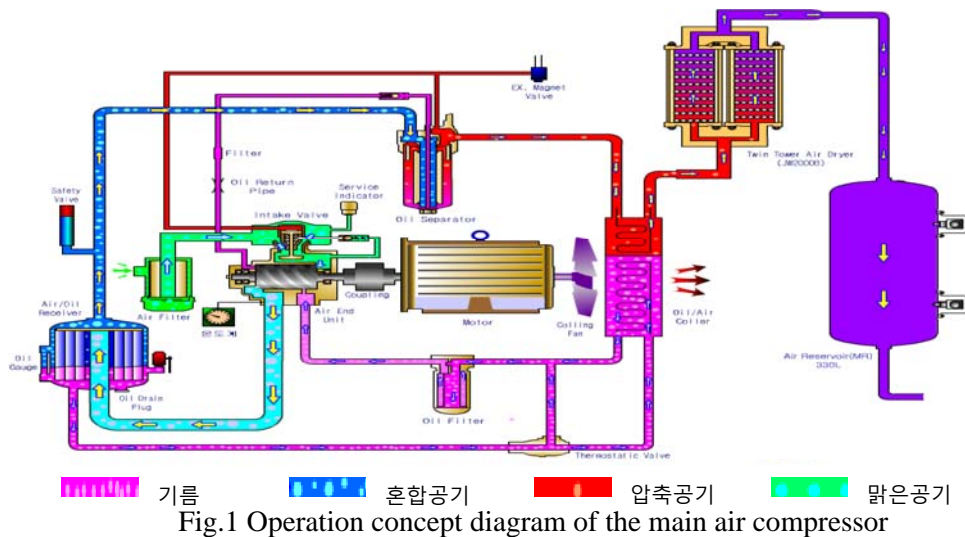
본 연구에서는 서울도시철도공사가 운영하고 있는 7,8호선 전동차 주공기압축기의 중요 부품인 오일 및 필터류 교체주기 시험을 1년간 시행하였으며, 1개편성 지정 최초 오일 교환 후 매월 오일 시료를 채취하여 사용 환경변화에 따른 오일의 물성변화 및 납품업체 성분 분석 시행하여 주공기압축기 오일 적정교체주기를 도출하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 주공기압축기 현황

#### 2.1.1 스크류방식 주공기압축기 동작 개념도

주공기압축기는 전동기에 의하여 구동되며, 스크류 압·수 로우터가 일정 간격으로 서로 맞물려 회전하면서 토출되는 특성을 갖는 연속 유량 발생장치이다. 고효율 이지만 소음이 피스톤 방식에 비해 현저히 적은 특성을 갖고, 피스톤 방식에 비하여 다소 복잡한 구성을 갖는다. 주공기압축기 오일은 온도조절기, 오일냉각기, 오일필터, 오일분리기 등을 거쳐 순환되며 동작된다.



#### 2.1.2 주공기압축기 오일 사용변경 및 소모품 교체주기

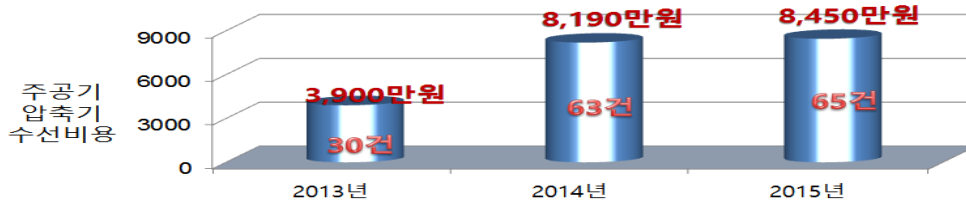
주공기압축기(CM) 오일은 최초 “MOBIL DTE 13M” 을 2011년 까지 사용하였으나, 단종으로 2012년부터는 제작사 추천 제품” MOBIL DTE 10 EXCEL 32” 로 변경하여 사용하고 있으며, 오일 및 필터류는 검사시행내규 반영규정에 따라 8M, 12M 주기로 혼용 사용 중에 있다.

Table 1 Oil change cycle of the main air compressor

구 분	5호선	6호선 및 7&8호선2차분	7&8호선 1차분
CM 형식	스크류방식(CRV-65E-PA형)	스크류방식(JYC-65FA)	스크류방식(CRY65E형)
CM 오일(Oil)	12M	8M	12M
오일세퍼레이터	12M	8M	12M
오일필터	12M	8M	8M
제조사	Knorr(독일)	유진기공(한국)	유진기공(한국)

### 2.1.3 주공기압축기 고장발생 현황

2012년 감소추세에 있던 고장이 2013년 이후 급격히 증가 발생하고 있으며, 월별 고장분석 결과 7~8월 온도가 높은 시기에 집중 발생하였다. 일정온도 이상 상승시(특히 하절기) 오일 성분의 계면 활성화가 진행되어 발생된 수분과 혼합되고 오일변색(유화 현상) 및 과온 현상이 발생되었다.



구분	계	5호선	6호선	7-1차분	7-2차분	8-1차분	8-2차분
2010년 ~2012년	17건	9건	1건	4건	1건	-	2건
2013년 ~2015년	158건	23건	32건	45건	54건	3건	1건

Fig.2 Oil discoloration failure status

주공기압축기 오일 변색과 오일 슬러지화를 동반하여 순환배관 및 각종 필터류 등에 침착되어 방치시 기계적 손상으로 이어질 우려가 있으며, 주공기압축기의 1회 분해정비시(오일, 오일필터, 가스켓류 등 소모품 교체) 약 150만원 비용이 발생하고 있다.



Fig.3 Associated fallouts caused by the oil discoloration

## 2.2 주공기압축기 오일 변색 현상 분석

### 2.2.1 제조사(Mobil)에 의뢰 변색 오일 성분분석

주공기압축기 오일 변색 및 냄새 발생 차량의 오일을 일부 채취하여 침전물을 확인한 결과 이물질(찌꺼기 및 쇳가루)의 잔존함을 확인하고 오일 제조사인 모빌코리아에 2012년, 2013년 신유와 오일 변색 및 냄새 발생차량의 오일과 침전물을 성분분석 의뢰한 결과 신유에서는 이상한 점이 없었으나 변색 및 냄새차량의 오일에서는 금속성분(알루미늄, 구리, 철, 니켈, 주석 등)이 함유되어 있고 산화도, 수분, 점도가 높음을 확인하였다.

Table 2 The result of discoloration oil component analysis

Lubricant Data & Wear Elements-ppm(mg/kg)	'12년 생산품	'13년 생산품	변색 CM유		
			7346호 (변색심함)	7704호 (약간변색)	7302호 (변색심함)
오염도, Contamination	Normal	Normal	*Alert	Normal	*Alert
Equipment Rating	Normal	Normal	*Alert	Normal	*Alert
Oil Rating	Normal	Normal	*Alert	*Caution	*Alert
점도, Visc@40C(cst)	31.4	31.7	38.2	32.7	263.7
산화도, Oxidation(Ab/cm)	0	0	72	24	99
수분함유량, Water(Vol%)	0.01	0.009	0.484	0.03	1.117
철성분함유량, Fe(iron,mg/kg)	0	0	274	17	94

### 2.2.2 주공기압축기 오일 변색 원인 분석

제작사(모빌코리아)에서 발생원인으로 제시한 내용을 참조하여 각각 검토한 결과 과도한 오일사용기간, 국부적 고온, 낮은 오일유량, 높은 오일온도에 의한 가능성은 해당 사항이 없었으나, 애프터쿨러 내,외측 오염(이물질,찌꺼기,숫가루 등) 상태가 심해 주공기압축기 냉각기능 저하가 우려되어 세척제를 냉각기 내부에 주입하여 하루 동안 유지하는 방법을 순환펌프로 세척제를 냉각기 내부로 강제 순환시켜 내부의 기름 찌꺼기와 슬러지 등 불순물 세척 및 강제 배출하는 방법으로 냉각기 내부 세척방법을 개선하였지만 오일 변색현상은 계속 발생하였다.

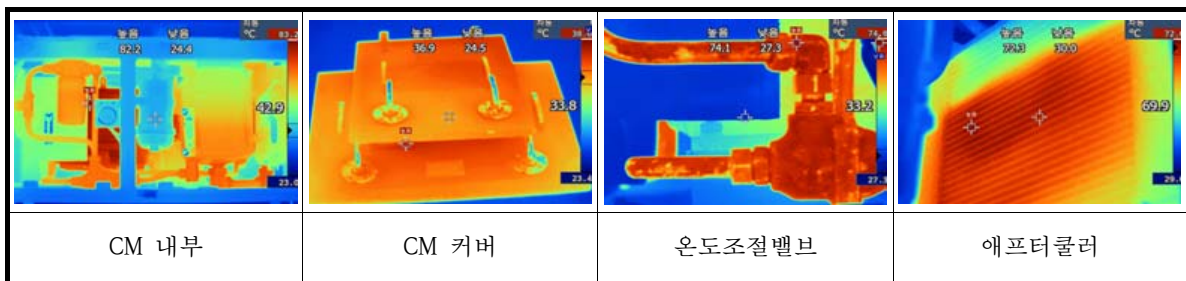


Fig.4 Temperature measurement of the main air compressor

## 2.3 주공기 압축기 오일 현차 분석 시험

### 2.3.1 주공기압축기 오일 및 필터류 교환주기 변경시험

주공기압축기 교환주기 12개월인 7호선 1차분의 경우 변색 등의 고장 발생율이 운용량 대비 41.2%로 교환주기 8개월인 6호선 및 7호선 2차분 보다 약2배 정도 높게 발생하여 오일 및 필터류 교환주기 비교 분석을 2개편성 지정 3호차에는 기존 8, 12개월 도래 시 교체하고 7호차는 6개월 도래 시 교체하는 방법으로 현차적용 시험을 시행하였다.

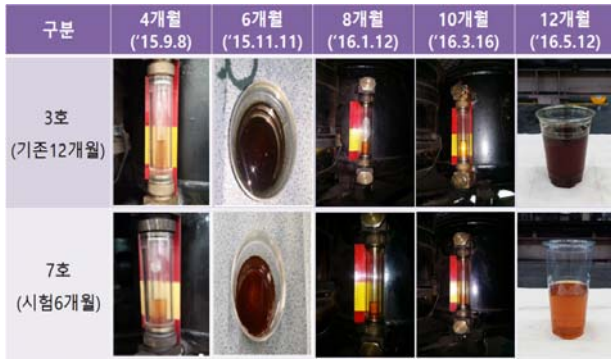


Fig.5 715 Train oil test results



Fig.6 716 Train oil filter test results

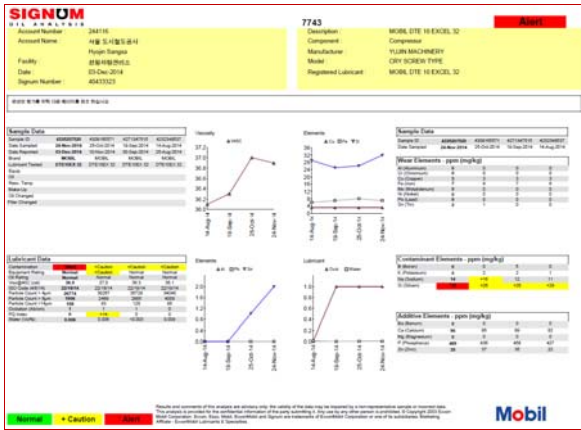
715, 716편성 1년간 시험한 결과 시험주기(6개월)에서는 오일, 필터류에서 변색 및 냄새 등의 오염 상태가 양호한 반면, 기존주기(오일필터: 8개월, 오일, 세퍼레이터 필터: 12개월)에서는 10개월간은 오일과, 세퍼레이터 필터에서 변색 및 오염이 사용 기간에 따른 정상적인 진행상태이며 12개월 점검시 오일, 필터(세퍼레이터)에서 변색 및 냄새가 상당히 진행된 것을 확인하였다.

Table 3 Oil status according to the change test result exchange cycle of the filter class

편성	차호	구분	교체 기준	현차시험 결과(오일 변색 및 필터류 오염상태)				
				1회차(4개월)	2회차(6개월)	3회차(8개월)	4회차(10개월)	5회차(12개월)
				2015.9.8	2015.11.11	2016.1.12	2016.3.16	2016.5.12
715	7315	오일필터	8개월	양호	양호	오염진행	양호	오염진행
		세퍼레이터필터	12개월	양호	양호	오염진행	오염진행	오염진행
	CM오일	12개월	연한갈색	변색(갈색)	변색(갈색)	변색(갈색)	냄새, 변색발생	
7715	오일필터	6개월	양호	양호	양호	양호	양호	
	세퍼레이터필터	6개월	양호	양호	양호	양호	양호	
	CM오일	6개월	양호	연한갈색	양호	연한갈색	변색(갈색)	
716	7316	오일필터	8개월	양호	양호	오염진행	양호	오염진행
		세퍼레이터필터	12개월	양호	양호	오염진행	오염진행	오염진행
	CM오일	12개월	연한갈색	변색(갈색)	변색(갈색)	변색(갈색)	변색, 냄새발생	
	7716	오일필터	6개월	오염진행	오염진행	-	-	-
		세퍼레이터필터	6개월	오염진행	오염진행	-	-	-
CM오일	6개월	변색(갈색)	변색, 냄새발생	2016.1.16 CM 교환으로 시험 중단				

### 2.3.2 주공기압축기 오일 성분 변화 분석 시험

7호선 2차분 전동차 743편성에 주공기압축기 오일 최초 교환 후 1개월 단위로 사용 오일의 시료를 채취 하여 환경변화에 따른 오일의 물성변화를 오일 납품업체에 성분분석 시행한 결과 점도, PQ지수, 금속성분(구리, 철, 주석), 오염성분(나트륨, 실리콘), 첨가제(칼슘, 아연) 성분이 6개월 사용 후부터 급격한 변화가 발생된 것을 확인할 수 있었다.



(기준)	23	25	28	30	28	27	20	11	1
구분(내부)	2014-04-22	2014-05-13	2014-06-18	2014-07-16	2014-08-12	2014-09-19	2014-10-25	2014-11-24	2014-12-29
Contamination	Caution	Caution	Caution	Caution	Caution	Caution	Caution	Caution	Normal
Equipment Rating	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Oil Rating	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
ISO Code (40/14)	22/18/13	22/18/14	22/18/12	22/18/14	22/18/14	22/18/14	22/18/14	22/18/14	22/18/14
Viscosity (cSt)	32.1	33.1	34.3	35.3	36.1	36.3	37	36.9	36.3
Oxidation (J&Tm)	1	1	0	1	0	1	1	1	1
PQ Index	0	0	0	0	0	0	14	0	8
Water (wt%)	0.01	0.003	0.012	0.023	0.009	<0.003	0.026	0.006	0.004
Al (Aluminum)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C (Chromium)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu (Copper)	1	1	2	2	3	3	3	3	2
Fe (Iron)	2	3	4	4	6	7	8	7	6
Mo (Molybdenum)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni (Nickel)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P (Phosphorus)	0	1	0	0	0	0	0	0	0
S (Sulfur)	0	0	0	0	0	0	1	2	0
Si (Silicon)	0	0	0	0	0	5	0	0	0
Ni (Nickel)	0	0	0	0	1	2	2	0	1
Na (Sodium)	3	2	5	7	11	12	16	14	9
S (Sulfur)	23	27	29	27	29	25	26	10	18
Sa (Sulfur)	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ca (Calcium)	107	98	97	88	82	89	85	90	99
Mg (Magnesium)	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P (Phosphorus)	464	480	492	424	427	458	436	489	431
Zn (Zinc)	5	5	12	14	22	35	37	35	35

Fig.7 The results of the oil sample analysis for the main air compressor

### 3. 결론

본 연구는 서울도시철도공사 7,8호선 전동차 주공기압축기 오일의 유성 파괴 변색현상과 지속적인 고장을 상승에 따른 발생원인 분석과 오일 교체 적정주기에 대해 시험 분석하여 유지 관리에 만전을 기하고자 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전동차의 주공기압축기 고장 데이터를 분석한 결과 오일 변색 등 발생시점은 오일교체 후 4개월이내 42%, 6개월이내 54%, 8개월이내 73%가 발생하였고, 오일 및 필터 교체주기와 물성변화 분석 시험결과 오일 적정 교체주기는 6개월 이내라는 결과를 도출하였다.
2. 향후 과제로 현재 사용중인 MOBIL DTE 10 EXCEL 32 오일보다 성분이 개선된 광유 또는 합성오일 변경 사용에 대한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] 김종학, (2016), “7·8호선 전동차 주공기압축기 최소비용 교체정책 연구”, 석사학위논문, 서울과학기술대학교
- [2] 김경섭(Kyung-Seob Kim), 조상희(Sang-Hee Cho), 김일은(HI-on Kim), 김정수(Jong-Soo Kim) “2호선 영국형 초퍼전동차 주공기 압력저하에 관한 연구” 한국철도학회 학술발표대회 논문집 2012.5, pp. 1798-1803(6pages)
- [3] 차철근(Chul-gean Cha), 김종배(Jong-bae Kim), 김심인(Shim-in Kim), 박희철(Hee-chul Park), 송문석(Moon-shuk Song), “부산도시철도 주공기압축기 오일이월에 관한 연구” 한국철도학회 학술발표대회 논문집 2010.10, pp. 1826-1836(11pages)
- [4] M. Fujiwara, (1995), “Performance analysis of an oil-injected screw compressor and its application”, Int. J. Refrig, Vol.18, no.1, pp.220-227