Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 24, No. 5 pp. 91-97, 2023

https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.5.91
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

잔존수명을 고려한 선로보수 장비 유압작동유의 상태평가

홍영선, 유홍국, 심규석, 김재문*
한국교통대학교

Evaluation of Hydraulic Oil Condition in Track Repair Machine Considering Remaining Useful Life

Young-Seon Hong, Hong-Kuk Yoo, Kyu-Seok Shim, Jae-Moon Kim*
Korea National University of Transportation

요 약 선로보수 장비에 사용중인 유압작동유(이하 작동유)의 교환은 검수 시행 절차서에 의해 사용시간 기준으로 이루어지고 있으며, 최근에는 성상분석과 오염분석을 위한 유분석 시험을 통해 작동유의 상태를 판단하여 교환하는 기준의 적용을 추진하고 있다. 유분석 시험은 작동유의 열화 정도를 정량적으로 표현할 수 있어 교환기준의 판단은 될 수 있으나, 이후 사용 가능한 수명의 평가는 될 수 없다. 따라서 선로보수 장비에 사용된 작동유 교환의 적정성을 판단하기 위해 유분석 시험과 잔존수명 시험을 통해 비교분석한 결과, 유분석 시험에서 양호한 상태를 보인 작동유라 하더라도 잔존수명 시험에서 산화방지제의 소실 상태가 크게 나타나 교환이 요구되는 사례가 발생되었고, 잔존수명이 충분히 남아있음에도 오염도가 불량한 사례도 발생되었다. 본 연구를 통해 작동유의 상태평가에 의한 사용유 교환의 필요여부를 결정하기 위해서는 기존의 유분석 시험만으로는 다음 점검주기까지 사용 가능 여부의 판단은 무리가 있으므로, 유분석 시험과 함께 잔존수명 평가를 추가적으로 시행하여 산화방지제 고갈로 인한 장비의 치명적인 고장을 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract The replacement of hydraulic oil that is used for a track repair machine is conducted according to the service time and the inspection procedure of the machine. Recently, the application of criteria for determining and changing hydraulic oil conditions has been promoted through oil analysis tests for the properties and the pollution of oil. An oil analysis test can show the degree of deterioration of hydraulic oil in quantitative terms, so it can be used as an exchange standard, but it cannot be used for evaluation of the remaining useful life. Therefore, a comparative analysis of a hydraulic oil analysis test and the remaining useful life test has been performed to determine the appropriateness of the hydraulic oil replacement used in the machine. Even though the condition was good in the oil analysis test, there were some cases in the life test that required replacement due to significant antioxidant loss. In some cases, the pollution level was high even though the remaining useful life was sufficient. In order to determine the used oil-exchange conditions through this study, fatal failure of the machine due to the depletion of antioxidants can be prevented through not only oil analysis tests, but also remaining useful life tests.

Keywords : Hydraulic Oil, Track Repair Machine, Ruler Test, Remaining Useful Life, Used Oil

*Corresponding Author : Jae-Moon Kim(Dept. of Transportation System Engineering, Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation, Korea)
email: goldmoon@ut.ac.kr
Received February 24, 2023 Revised March 21, 2023
Accepted May 12, 2023 Published May 31, 2023

1. 서론

경부고속철도의 개통으로 우리나라 철도는 반나절 생활권의 고속철도 시대로 접어들었다. 열차의 고속화에 따른 열차운행의 안전확보과 신뢰도 향상을 위해서는 선로보수 장비를 통한 기계화 작업이 필요하며, 이러한 기계화 작업에 있어 유압시스템은 필수요소라 할 수 있다.

선로보수 장비 뿐 아니라 여러 산업분야에 사용되고 있는 대부분의 기계장치에는 원활한 성능유지와 마모방지를 위해 작동유 또는 윤활유가 필수적으로 사용되고 있다. 기계의 정도유지와 마모를 최소한으로 줄이기 위해서는 작동유나 윤활유의 주기적인 관리가 매우 중요하지만[1], 여러 가지 원인에 의하여 폐유화 되어 설비에 치명적인 지장을 초래하는 경우가 많다. 폐유(contaminated oil)가 되는 원인에는 화학적 변화인 산화(oxidation)와 탄화(carbonization), 물리적 변화인 희석, 에멀젼(emulsion), 이물질 혼입 등이 있으며, 작동유는 사용 중에 이러한 요인에 의해 오염이 진행되며 산화 및 열화된다[2].

선행연구 조사에 따르면, 구영모(2004년)는 유압시스템에서 작동유가 미치는 영향에 대해 연구하였고[3], 노시갑(2004년)은 유압설비의 청정도 진단 및 개선에 대해 연구하였다[4]. 선로보수 장비에 대해서는 홍영선(2019년)이 선로보수 장비 작동유의 산가에 의한 교환주기 분석에 대해 연구하였다[1]. 유압시스템 및 설비에 대해서는 입자 오염도인 청정도 관리에 대한 연구가 다 수 진행되고 있었으나, 선로보수 장비에 사용중인 작동유의 수명에 관한 연구는 산가에 의한 교환주기 분석 연구를 제외하면 전무한 상태였다.

선로보수 장비에 사용중인 작동유의 교환은 검수 시행절차서에 의해 사용시간 기준으로 교환되고 있으며, 최근에는 성상분석과 오염분석을 위한 유분석 시험을 통해 작동유의 상태를 판단하여 교환하는 기준의 적용을 추진하고 있다. 유분석 시험은 작동유의 열화 정도를 정량적으로 표현할 수 있어 교환기준의 판단은 될 수 있으나, 이후 사용 가능한 수명의 평가는 될 수 없다. 따라서 유분석 시험과 함께 잔존수명의 평가를 통해 선로보수 장비에 사용되는 작동유의 상태평가에 대해 연구하였다.

2. 선로보수 장비 작동유

2.1 작동유의 역할 및 특성

선로보수 장비는 선로의 틀림상태를 정정하는 Multiful Tie Tamper(이하 MTT)나 Switch Tie Tamper(이하 STT), 도상의 자갈을 정리하는 Ballast Regulator(이하 RE), 도상자갈의 응집력을 증대를 위한 Dynamic Track Stabilizer(이하 DTS) 등의 장비가 있으며, 유압시스템은 장비의 주행이나 작업장치의 동작 등 큰 힘을 필요로 하는 장치에 사용되고 있다.

유압시스템에서 작동유는 압력에너지 이송, 습동부 윤활작용, 냉각작용, 방청작용, 이물질을 흡수하여 운반하는 등의 중요한 역할을 하게 된다. 하지만 작동유의 선정 단계부터 부적합한 제품이 선정되어 사용된다면 유압시스템의 오동작이나 유압기기의 수명 단축 등의 경제적 손실을 발생시킬 수 있으므로 작동유에 대해서도 잘 알아둘 필요가 있다.

작동유는 일반적으로 석유계의 것이 널리 사용되고 있으며 점도 등급에 따라 ISO VG 32~68의 작동유가 주로 사용된다. 일반적으로 사용하는 작동유는 ISO VG 46이며, 한랭지역은 ISO VG 32, 열대지역은 ISO VG 68이 적용된다. 선로보수 장비에도 석유계의 작동유로 ISO VG 46 등급이 사용되고 있다. 작동유의 물리적 성질은 점도, 점도지수, 비중, 유동점, 인화점, 산화안전성, 압축율 등이 있다.

점도는 유체의 흐름에 저항하는 정도를 나타내는 척도로 사용되며, 일정한 크기의 중력에 의한 흐름과 전단에 대한 기름의 저항을 받으며, 일정한 체적의 유체가 일정한 단면적의 모세관을 흘러나가는 데 걸린 시간으로 단위는 cSt(centistokes)로 표시된다[1]. 점도는 온도의 변화에 따라 변화량이 크게 작용하며, 점도의 변화는 동력의 효율이나 누설(Leakage)에 영향을 준다. Fig. 1은 온도변화에 따른 점도의 변화를 보여주고 있다.

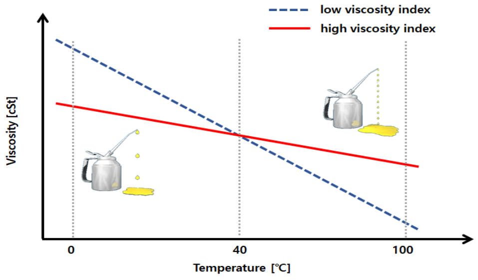

Fig. 1. Variation of viscosity by temperature

점도지수(VI, Viscosity Index)는 작동유 온도 40℃와 100℃에서 점도를 측정하여 변화량을 지수화하여 나

타낸다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 점도지수가 높을수록 온도변화에 따른 점도의 변화량이 작게 작용하므로, 점도지수가 높을수록 유압에 유리하다.

비중은 "용적이 동일한 4℃의 증류수와 15℃의 작동유 간 무게의 비"로 석유계 작동유의 비중은 0.85~0.95 정도이다. 기유의 종류와 점도가 동일할 경우 비중이 작은 것일수록 유압에 적합하다.

유동점은 유체가 흐름의 정도를 잃게 되는 응고점 보다 2.5℃ 높은 온도로, 일반적인 작동유의 유동점은 -20℃~-25℃이다. 유동점이 낮을수록 저온에서의 영향이 적다.

인화점은 작동유를 가열하여 발생되는 유증기에 불꽃을 대었을 때 불이 붙을 때 온도를 말하며, 석유계 작동유의 인화점은 180℃~240℃ 정도이다.

산화안정성은 작동유의 수명을 나타내는 척도로 사용되며, 이 척도의 대표적인 것이 전산가(TAN, Total Acid Number)를 측정하는 것이다. 산화의 진행은 이물질이나 유온의 상승에 의해 가속되어 점도의 증가, 변색, 불용해 성분의 석출, 방청성 등의 성능저하를 일으키며 결국에는 수명으로 되어 버린다.

압축율은 압력을 가한 후 본래의 체적과 작아진 체적과의 비율을 나타내며 작동유의 종류에 따라 압축율이 다르게 나타난다. 유압시스템은 액체의 비압축성을 이용하여 정확한 속도와 위치제어를 요구하므로 압축율이 작을수록 유압에 적합하다.

선로보수 장비에 사용되고 있는 ISO VG 46 작동유는 신유의 경우 Table 1과 같이 점도, 점도지수, 유동점, 인화점, 수분 함량, 방청성능, 항유화성, 기포도, 입자 오염도 등에 대한 기준을 적용하고 있다.

Table 1. New oil management standards

Inspection items	Standard
Viscosity(40℃)	46 ±10%
Viscosity Index	150℃ or more
Pour point	-22.5℃ or lower
Flash point	170℃ or lower
Water content(㎎/㎏)	500 or lower
Anti-corrosion(Distilled water, 24h)	Doesn't rust
Demulsibility	30 or lower
Foamability(24℃)	65 or lower
Particle pollution level(NAS1638)	8th grade or lower

2.2 사용유 관리기준

작동유를 적정시기까지 충분한 성능을 발휘하기 위해서는 오염물질 제거를 위한 필터, 외부 공기를 통해 유입되는 이물질이나 수분을 제거하기 위한 에어브리더의 관리와 적정 점도의 유지를 위한 열교환기(냉각기, 가열기) 등을 기계장치의 운전조건에 적합하게 유지함이 요구된다.

선로보수 장비의 경우도 기계장치의 종류나 운전조건, 작업조건 등의 영향으로 오염 및 열화정도가 다르게 나타남에 따라 정기적인 점검이 요구된다.

작동유의 상태평가에 있어 중요시 되는 변수는 입자오염도, 점도, 전산가, 수분 함량 등이 있으며, 기계장치의 성능을 유지하기 위해서는 주기적으로 신뢰할 수 있는 시험실에서 검사한 후 관리기준 대비 부적합 항목이 발생한 경우에는 적절한 조치를 취해야 한다. 일반적으로 작동유를 검사하는 방법은 유분석 시험을 통해 평가하며, 일반적인 작동유의 교환은 전산가 기준 초과시 교환을 실시하게 되고, 기타 점도, 수분, 오염도 불량시는 안정화 조치를 취하여 계속 사용하는 것이 바람직하다[3].

2.2.1 입자 오염도(Particle pollution level)

유압시스템에서는 압력과 사용되는 기기에 따라 허용 가능한 작동유의 오염도 범위가 정해져 있다. 작동유의 오염도는 적절한 필터링의 설치와 관리로 유지될 수 있다. 작동유와 같은 오일의 오염도는 입자별 크기의 오염도 등급으로 정하고 있으며, 이러한 경우 대표적인 표준은 ISO 4406이다[5].

Table 2. Particle pollution rating code by ISO 4406

Code	Particles per milliliter	
	More than	Up to & including
24	80,000	160,000
23	40,000	80,000
22	20,000	40,000
21	10,000	20,000
20	5,000	10,000
19	2,500	5,000
18	1,300	2,500
17	640	1,300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2.5	5
8	1.3	2.5
7	0.64	1.3
6	0.32	0.64

ISO 4406에 의한 오염도는 1㎖의 시료에 들어 있는

3가지 크기(4㎛, 6㎛, 14㎛)에 대한 입자들의 수량에 대한 등급코드를 표기하는 방식이다. 입자 오염도 등급코드는 Table 2에서 보는 바와 같이 각각의 크기보다 큰 입자수를 세어 등급을 표기한다.

작동유의 입자 오염도 관리기준은 Table 3에서 보는 바와 같이 장비 제작사의 기준과 ASTM(American Society for Testing Materials)의 관리기준이 다르게 제시되고 있다. 이는 장비의 사용압력과 유압기기별로 다르게 정할 수 있으므로, 선로보수 장비에는 장비 제작사에서 제시하고 있는 관리기준을 적용한다.

Table 3. Management criteria for particle pollution level

Sortation	Equipment manufacturer	ASTM D6224-22[6]
ISO 4406 Code	19/16/13 ~ 20/17/14	16/14/12 ~ 18/16/14

2.2.2 점도(Viscosity)

선로보수 장비에 사용중인 작동유의 점도 등급은 ISO VG 46이 적용되고 있다. 이는 40℃의 유온에서 측정된 동점도가 46cSt임을 의미한다. 점도는 장비의 사용조건에 따라 변화하며, 점도의 관리기준은 Table 4에서 보는 바와 같이 기준점도 대비 ±5%~±10% 정도로 관리기준을 제시하고 있다. 선로보수 장비에는 제작사에서 제시하고 있는 관리기준을 적용하고 있다.

Table 4. Management criteria for Viscosity

Sortation	Equipment manufacturer	ASTM D6224-22[6]
Viscosity	±10% of new	±5% of new

2.2.3 전산가(TAN)

작동유의 산가는 전통적으로 산을 중화하는데 필요로 하는 수산화칼륨(KOH)의 양으로 표시한다. 전산가가 갑작스럽게 증가하는 것은 비정상적인 작동 상황을 나타내기 때문에, 작동유 공급자는 전산가의 사용한계를 제시하고 있다[7]. 전산가의 관리기준은 Table 5에서 보는 바와 같이 장비 제작사의 기준과 ASTM의 관리기준을 다르게 제시하고 있다. 선로보수 장비에는 “선로보수 장비 유압작동유의 산가에 의한 교환주기 분석” [1] 연구결과에 따라 ASTM에서 제시하고 있는 신유 대비 증가량 0.2의 관리기준을 적용하고 있다.

Table 5. Management criteria for Total Acid Nomber

Sortation	Equipment manufacturer	ASTM D6224-22[6]
TAN	0.5(abnomal) 1.0(critical)	increase of 0.2

2.2.4 수분 함량

신유의 작동유도 약 40ppm 정도의 수분이 함유되어 있으며, 수분이 과다하게 함유되어 있으면 유압기기의 부식과 stick slip과 같은 오동작으로 시스템에 나쁜 영향을 미치게 된다. 수분의 관리기준은 Table 6에서 보는 바와 같이 장비 제작사에서는 300ppm을 수분 용해의 한계, 1,000ppm을 최대 허용치로 제시하고 있으며, ASTM의 경우 경고기준으로 500ppm을 제시하고 있다. 선로보수 장비에는 장비 제작사에서 제시하는 수분 용해의 한계인 300ppm을 관리기준으로 적용하고 있다.

Table 6. Management criteria for water content

Sortation	Equipment manufacturer	ASTM D6224-22[6]
water content	300ppm(melting limit) 1.000ppm(allowable limit)	500ppm(critical)

3. 잔존수명 및 시험

3.1 사용유 잔존수명

석유계 작동유는 원유에서 추출된 윤활기유에 각종 첨가제를 혼합(Blending)하여 제조한다.

Table 7. Additives in hydraulic oil

additive	mark	performance
anti-abrasion	AW	anti-abrasion and wear delays
anti-oxidant	AO	anti-oxidant and delay in oxidation
anti-foaming	AF	eliminating the generation of forming
corrosion inhibitor	CI	corrosion inhibitor of parts
demulsifier	DE	separation of water
pour point depressant	PPD	lower the flow point
viscosity index improver	VII	reduce the change in viscosity due to temperature

작동유에 함유되는 주요 첨가제는 Table 7에서 보는 바와 같이 마모 방지제, 산화 방지제, 소포제, 부식 방지제, 항유화제, 유동점 강하제, 점도지수 개선제 등이 첨가되고 있다.

작동유의 경우 함유되는 첨가제 중 산화방지제의 비중이 가장 높으며 중요한 역할로 작용한다. 따라서 작동유의 수명은 산화방지제의 종류와 잔존량, 기유의 종류에 따라 많이 좌우되는데, 사용유에 잔존한 산화방지제의 양을 측정하여 관리함으로써, 작동유를 적기에 교환하여 오염물질의 발생을 예방할 수 있다. 산화방지제의 잔존량을 측정하는 대표적인 방법으로 Ruler Test가 이용되고 있다. Fig. 2는 작동유의 Ruler Test 결과의 예시로 새 기름과 비교하여 사용유 내의 산화방지제 잔존량을 개량화하여 보여준다. 산화방지제는 페놀(Phenols)계와 아민(Amines)계 산화방지제가 있으며, 이중 페놀계 산화방지제는 아민계 산화방지제의 보호역할을 하게되며, 아민계 산화방지제가 작동유의 직접적인 산화방지 역할을 담당하게 된다. Fig. 2에서 Peak1 구간은 아민계 산화방지제의 잔존량을 나타내고, Peak2 구간은 페놀계 산화방지제의 잔존량을 나타내고 있다.

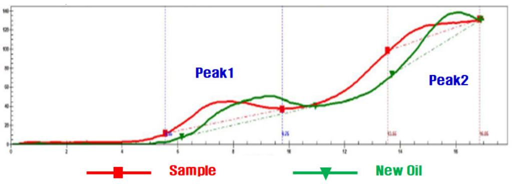

Fig. 2. Ruler testing results of used oil

잔존수명 평가에 대한 관리기준은 ASTM에서는 RUL(Remaining Useful Life) 값이 25% 미만에서는 오일의 교환을 추천하고 있다.

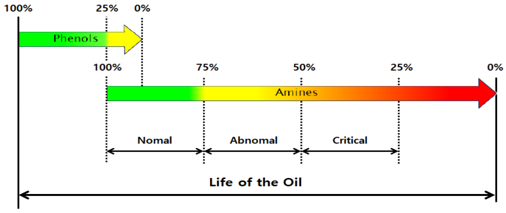

Fig. 3. Remaining useful life

Fig. 3에서 보는바와 같이 Ruler Testing에 의한 작동유의 수명 그래프를 보면 페놀계 산화방지제는 잔존량 25% 미만에서 주의기준으로 설정되며, 아민계 산화방지제는 잔존량 75% 미만에서 주의기준, 50% 미만에서 경고기준으로 관리됨을 알 수 있다.

3.2 시험방법 및 분석

3.2.1 시험방법

시험에 사용된 사용유는 선로보수 장비에 사용된 작동유의 교환주기에 채취하였으며, 시료의 채취는 시험의 정확도를 위하여 작동유 탱크 내부의 작동유가 충분히 희석될 수 있도록 30분 이상 유압시스템 구동 후 탱크의 리턴라인에서 채취하였다. 시험방법은 크게 유분석 시험과 잔존수명 평가로 구분하여 시험하였다. 유분석 시험에서 점도는 ASTM D445, 점도지수는 ASTM D2270, 산가는 ASTM D974, 수분은 ASTM D6304, 오염도는 ISO 11500에 의한 분석방법으로 평가를 하였으며, 잔존수명 평가는 ASTM D6971 분석방법에 의한 Ruler Test를 통해 사용유 내 산화방지제의 잔존량에 의한 수명을 평가하였다.

3.2.2 시험결과 및 분석

시험은 선로보수 장비 중 보유 비중이 높으며 지속적인 진동 발생 등 작업환경이 가장 열악하고, 부하가 높게 발생하는 8대의 장비에서 사용중인 ISO VG 46 등급의 동일한 사용유를 채취하여 공인된 유분석 시험 기관과 자체 시험기를 통해 시행하였으며, 유분석 시험의 결과는 Table 8과 같으며, B장비와 F장비의 경우 점도불량으로 교환이 요구되었으며, C, D, F, G, H 장비의 경우 오염도 불량으로 교환이 요구되었으며, A장비와 E장비는 모든 항목에서 양호한 상태를 보임에 따라 사용이 가능함으로 판단되었다.

Table 8. The results of an hydraulic oil analysis

Equipment	particle level	viscosity	TAN	water content
A	21/17/11	43.66	0.25	52.4
B	19/16/9	39.28 (NG)	0.08	26.9
C	23/20/15 (NG)	42.46	0.07	37.9
D	21/18/12 (NG)	42.01	0.09	28.1
E	18/14/10	46.32	0.25	35.2
F	NG	40.17 (NG)	0.11	-
G	NG	41.19	0.12	-
H	NG	41.37	0.12	-

* NG(Not Good)

F, G H의 장비에 대해서는 수분의 경우 A~E 장비의 시험결과 값이 관리기준인 300ppm 보다 현저히 낮은 26.9~52.4ppm의 수치를 보임에 따라 수분함량에 대한 시험을 하지 않았으며, 오염도에 대한 기준의 한계는 20/17/14이나 측정 값이 이를 초과하여 NG로 판정하였다.

잔존수명 시험의 결과는 Table 9와 같으며, B장비와 C장비의 경우 아민계 산화방지제의 잔존량이 경고수준(75%) 미만으로 측정되어 교환이 요구되었으며, A장비의 경우 페놀계 산화방지제의 잔존량이 경고수준(25%) 미만으로 측정되어 교환이 요구되었으며, D장비와 E장비는 두 가지 산화방지제 모두 양호한 상태를 보임에 따라 추가사용이 가능함으로 판단되었다. 또한 F, G, H 장비의 경우 아민계 산화방지제의 잔존량이 75% 미만으로 측정되어 주의수준을 보이고 있으나, 향후 다음 점검주기까지의 사용가능 여부에 대한 추가 검토가 필요할 것으로 평가되었다.

Table 9. The results of ruler testing

Equipment	amines	phenols
A	96.5	12.0 (abnomal)
B	32.6 (critical)	33.3
C	44.8 (critical)	25.8
D	75.6	49.4
E	99.4	96.4
F	60.9 (abnomal)	73.3
G	68.2 (abnomal)	57.6
H	65.0 (abnomal)	54.8

유분석 시험과 잔존수명 시험 결과를 비교해 보면 A 장비의 경우 유분석 시험에서는 양호한 상태를 보임에 따라 사용이 가능함으로 판단되었으나, 잔존수명 시험 결과에서 페놀계 산화방지제의 잔존량이 경고수준으로 나타남에 따라 교환이 요구되었다. 또한 D장비의 경우 유분석 시험에서는 오염도가 기준 값을 초과하여 교환이 요구되었으나, 잔존수명 시험 결과에서는 양호한 상태를 보임에 따라 플러싱을 통해 오염도 관리를 할 경우 재사용도 검토해 볼 수 있을 것이다. 이는 산업자원부에서 시행한 “유압유플러싱장비에 관한 신뢰성향상 지원” 과제의 최종보고서를 보면 오염된 유압작동유 100ℓ를 플러싱 장비를 이용하여 1시간 동안 정제한 결과 오염도 등급이 21/20/14에서 16/14/9로 향상된 결과가 나타났다는[8] 결과를 토대로 사용유의 재활용 측면에서 잔존수명 시험평가를 추가적으로 시행할 필요가 있다.

이와 같이 확인된 결과에서 E 장비의 사용유는 두가지 분석 결과를 모두 만족하여 교환이 필요 없고, 나머지 장비의 사용유는 모두 교환을 하여야 장비의 치명적인 고장을 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

선로보수 장비 기계화 작업을 통해 열차운행의 안전확보와 신뢰도를 향상할 수 있으며, 유압시스템은 이러한 기계화에 필수요소라 할 수 있다. 선로보수 장비와 같은 기계장치에는 원활한 성능유지와 마모방지를 위해 작동유의 주기적인 관리가 매우 중요하다. 본 연구에서는 선로보수 장비에 사용되고 있는 작동유 교환의 적정성을 판단하기 위해 8대의 장비를 선정하여 유분석 시험과 잔존수명 시험을 통해 비교 분석하였다. 시험 분석 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

유분석 시험에서 양호한 상태를 보인 작동유라 하더라도 잔존수명 시험에서 산화방지제의 소실상태가 크게 나타나 교환이 요구되는 사례가 발생되었고, 잔존수명이 충분히 남아있음에도 오염도가 불량하여 교환이 요구되는 사례도 발생되었다.

작동유의 상태평가에 의한 사용유 교환의 필요여부를 결정하기 위해서는 기존의 유분석 시험만으로는 다음 점검주기까지 사용 가능 여부의 판단은 무리가 있으므로, 유분석 시험과 함께 잔존수명 평가를 추가적으로 시행하여 산화방지제 고갈로 인한 장비의 치명적인 고장을 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] Y. S. Hong, *Replacement Period Analysis of Hydraulic Oil for Track Repair Machine by Using Acid Number*, Master's thesis, Korea National University of Transportation, Uiwang, Korea, pp.1-13, 2019.

[2] S. J. Joh, I. S. Kim, J. O. Lee, C. J. Yoo, H. S. Hwang, A Study on the Development of Oil Cleaner, Research Report, Korea Institute of Machinery & Materials(KIMM), Korea, pp.5.

[3] Y. M. Gu. “Influence of Hydraulic Fluid In Hydraulic System”, *Journal of Hydraulic and Pneumatic Systems*, Vol.1, No.2, pp.9-11, June 2004.

[4] S. G. Noh. "Diagnosis and Improvement of Cleanliness of Hydraulic Systems", *Journal of Hydraulic and Pneumatic Systems*, Vol.1, No.2, pp.12-17, June 2004.

[5] ISO 4406, Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by particles.

[6] ASTM D6224-22, Standard Practice for In-Service Monitoring of Lubricating Oil for Auxiliary Power Plant Equipment.

[7] H. S. Kong, C. V. Ossia, H. G. Han, L. Markova, "In-line Smart Oil Sensor for Machine Condition Monitoring", *Journal of the KSTLE*, Vol.24, No.3, pp.111-121, June 2008.
DOI: https://doi.org/10.9725/kstle.2008.24.3.111

[8] K. H. Gu, Y. H. Kim, G. Park, Support for Improved Reliability of Hydraulic Oil Flushing Equipment, Research Report, Korea Institute of Machinery & Materials(KIMM), Korea, pp.42-43.

홍 영 선(Young-Seon Hong) [정회원]

• 2004년 2월 ~ 2015년 7월 : 한국철도공사 시설장비사무소
• 2020년 2월 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 (공학석사)
• 2015년 7월 ~ 현재 : 한국철도공사 인재개발원
• 2021년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 교통대학원 박사과정

〈관심분야〉
철도차량, 기계설비

유 홍 국(Hong-Kuk Yoo) [정회원]

• 1989년 2월 : 서울과학기술대학교 전기공학과 (학사)
• 2007년 8월 : 부산대학교 경영대학원 (경영학석사)
• 2019년 4월 ~ 현재 : ㈜건일엠이씨 대표이사
• 2021년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 교통대학원 박사과정

〈관심분야〉
전기철도, 접지공학

심 규 석(Kyu-Seok Shim) [정회원]

• 2000년 10월 ~ 2004년 11월 : 금비전자(주) 선임연구원
• 2004년 11월 ~ 2008년 6월 : ㈜시니드 선임연구원
• 2008년 7월 ~ 2011년 4월 : ㈜딥노이드 수석연구원
• 2020년 2월 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 (공학석사)
• 2011년 5월 ~ 현재 : ㈜디지로그테크 대표이사 겸 연구소장

〈관심분야〉
전력전자, 소방설비

김 재 문(Jae-Moon Kim) [정회원]

• 2000년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 (공학박사)
• 2000년 3월 ~ 2004년 2월 : 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원
• 2004년 3월 ~ 2012년 2월 : 한국철도대학 철도차량전기과 교수
• 2006년 1월 ~ 현재 : 국토교통부 철도기술 전문위원
• 2013년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 교통시스템공학과 교수

〈관심분야〉
전력전자, 전기철도