

고속철도 감속기유의 열화감지 기술 고찰

A study on the reduction gear oil aging monitoring technology for high speed trains

김형진*†, 이찬우*, 조덕영**

Hyeong Jin Kim*†, Chan Woo Lee*, Duck Young Cho**

Abstract The main use of reduction gear oil of the KTX is to protect gear contact surface under considerably high speed and various track conditions from the severe lubrication conditions such as vibration, water and particulate contaminants, and temperature variation due to outdoor weather conditions. However, as time goes by, the severe lubrication conditions accelerate the degradation of the gear oil and cause the wear or damage of gear tooth contact surface. Therefore, the reduction gear oil of the high speed train has to be analyzed periodically. In this study, technology trend of oil aging monitoring has been investigated. Also, by using commercial oil sensors, feasibility study for adapting the sensors to the existing reduction gear unit of the high speed train has been performed.

Keywords : Reduction gear, Relative permittivity, water contamination, Fe contamination

초 록 고속철도 차량 감속기 기어유는 사용 중 고속 운용조건 및 다양한 선로조건 하에서 발생하는 진동이나 외부 유입 수분, 계절 변화에 따른 대기 온도변화 등 다양한 환경조건 등으로부터 기어 접촉면을 보호하는 것이 주 목적이나 사용기간이 경과함에 따라 오일이 열화 되어 제 성능을 발휘하지 못하게 되면 기어 치면의 접촉부에 손상이나 이상마모가 발생하게 되며 궁극적으로는 감속기 파손사고의 원인이 될 수도 있다. 따라서 차량 운영처에서는 주기적으로 감속기 기어유 샘플을 채취하여 이상 유무를 분석하도록 검수 매뉴얼에 규정하여 시행하고 있다. 본 연구에서는 기어유의 열화 감시를 위한 기술 현황을 분석하고 열화 센서의 고속철도 감속기 적용 가능성을 검토 분석하였다

주요어 : 감속기, 상대유전율, 수분함유량, 철분함유량

1. 서 론

고속철도 차량은 장거리 고속 운행을 하는 차량으로, 주행 중 발생하는 진동 및 옥외분진이나 습기 침투, 기후 변화에 따른 온도 및 습도변화 등 열악한 사용 환경하에 운용되고 있기 때문에 차량의 하부인 대차에 설치되어 외부 환경변화 요인에 노출되어 있는 감속기에서 운용기간이 경과함에 따라 윤활유의 열화는 진행될 수 밖에 없는 상황이고 이로 인해 원활한 윤활이 이루어 지지 않아 기어 치면의 마모 및 손상이 발생 할 수 있다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 첨단고속철도연구실(hjkim@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 첨단고속철도연구실

** (주)슬지

이러한 감속기 기어 치면의 손상이나 마모가 과대하게 발생하거나, 기준치 이상의 과도한 수분이 기어유 내에 포함되어 있게 되면 기어를 포함한 감속기내 요소부품의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라 고속철도의 안전 운행에 심각한 위협요소로 작용할 수 있기 때문에 고속철도 운영기관에서는 감속기유 관리방안에 대한 규정을 마련하여 시행하고 있는데 정기적인 보수 점검 및 수리와 더불어 예방보수 차원에서 감속기유를 정기적으로 샘플링하여 수분 및 철분의 함유량이 관리기준을 초과하는지를 분석하고 이상이 발생할 경우에는 유보충이나 감속기 Overhaul 등 필요한 조치를 취하게 된다.

우리나라의 KTX에서 사용되고 있는 철분 및 수분 관리 기준은 프랑스 Alstom이 제시한 관리 기준보다 엄격한데 이는 우리나라와 프랑스의 지리적, 기후적, 운용적 측면에서 차이에 기인하는 것으로 추정된다. 현재의 기어유 검수 시스템은 기어유에 포함되어 있는 철분 및 수분 함유량의 이상 유무를 판단하는 것인데 차량이 기지에 입고되어 감속기가 정지된 상태에서 기어유를 샘플링하여 분석을 수행하고 있다. 그러나 이러한 방법으로는 실제 운행시의 동적인 변화상태를 알기가 어렵고 실시간으로 대처하기 어려우므로 차량의 안전운행을 위해 감속기에 직접 온라인 유분석 센서를 설치하여 차량 운행 시의 유의 온도, 습도, 열화상태 등을 상시 감시하고 이상이 발생할 경우, 경보 하는 시스템을 고려할 시점에 도달하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 감속기유의 열화 상태의 감시 기술을 검토하고 상용 윤활유 열화 센서를 이용하여 그 적용성을 검토하였다.

2. 온라인 열화센서 기술 동향

고속철도 감속기 기어유는 동점도: 233cSt@40°C, 20.7cSt @100°C; 점도지수 106의 고도정제된 파라핀계 광유이다. 유의 점도는 윤활면 유막두께를 결정하는 중요한 물성으로서 사용유 관리에서 반드시 관리되어야 할 항목이고 실제 운전 시의 점도는 운전온도에 따라 변하므로, 온도관리가 중요하다. 감속기 기어박스 윤활에서 기어의 접촉면의 유막에 수분오염이나 입자오염이 개재되면 유막이 깨지고, 응력이 집중되어 마찰 증가 및 마모촉진의 요인이 될 뿐만 아니라 유의 성능 향상과 윤활면 보호를 위해서 첨가된 각종 첨가제를 흡착, 분해, 분리시키고, 감속기유 자체의 산화를 촉진시키는 촉매역할을 하게 된다. 또한, 오일에 수분이 혼합되면 정상상태의 오일에 비해 기계요소 구성품을 녹슬게 하는 등 문제를 야기 할 수 있으며 기어나 베어링과 같은 기계 요소부품은 정상 사용조건하에서도 재료의 기계적 강도 특성에 영향을 미치는 부식 등이 발생하면 초기 설계 수명보다 짧은 수준에서 파손이 발생할 가능성이 커진다[1]. 따라서 철도차량의 안전운행을 위해서는 운행 시의 감속기의 동적인 윤활상태를 효과적으로 파악하는 것이 필요하고 그러기 위해서는 유막상태를 대변하는 윤활유의 상태를 온라인으로 진단할 필요성이 대두된다. 온라인 상태진단 기술로는 광섬유센서를 활용한 오일내 수분량 모니터링[2] 기술이나 기어박스 등의 내부에 존재하는 마모입자를 Oil debris monitor(ODM) sensor 를 활용하여 모니터링하는 기술[3,4] 외에 유의 열화 및 오염 시에 발생하는 유의 전기적 및 자기적 특성변화, 광학적 특성 변화를 측정하는 센서들이 개발되었고 검증시험을

실시해 왔다. Chun[5]은 유전상수 센서를 사용하여 엔진오일의 유전상수가 엔진의 사용시간에 따라 비례하는 것을 검토하였는데 이를 이용하면 엔진오일의 교환을 주기적으로 하지 않고 유 상태에 따라 오일 교환이 가능함을 보여주었다. Kong[6]등은 유열화에 따른 색채 특성변화를 이용하여유의 열화도를 측정할 수 있는 색채비 계산식을 제시하고 측정센서를 제작하여 산업용 유압작동유의 신유와 사용유를 비교하여 그 실용성을 검토하였다. 결론적으로 오일의 열화도 및 오염 상태를 측정하기 위한 방법으로 전산가(TAN)의 변화를 측정하는 방법, 유의 상대 유전률(Relative Permittivity) 혹은 유전상수(Dielectric Constant)를 측정하는 방법, 전기 전도도(Electric Conductivity) 변화를 측정하는 방법, 유산화/열화 시에 발생하는 유의 색상변화를 측정하는 투과광 색상 측정방법, 오염물이나 마모입자 분석 방법 등이 많이 사용되고 있으며 주로 항공산업, 풍력발전기, 자동차 산업을 대상으로 연구가 집중 되고 있다.

3. 고속철도 감속기 센서 적용성 검토

고속철도 감속기의 센서 적용성 검토를 위해 본 연구에서 사용된 센서는 Argo-Hytos사의 LubCos H₂Oplus II 센서로 오일의 상대유전율, 전기전도도, 습도, 온도 등을 측정하여 오일의 열화 상태를 감지 할 목적으로 제작된 센서이며 수분이나 철분의 양을 직접적으로 측정하는 전용 센서는 아니다. 본 연구에서는 기본형 센서를 일부 형상 변경하여 사용하였으며 감속기에 사용되는 기어유의 신유 시료를 대상으로 하여 상대유전율과 수분이나 철분 오염물과의 상관 관계를 분석하였다. Fig. 1은 시험장치를 나타낸 것이고 각 오염물질이 저유조(oil reservoir)내에 잘 분포될 수 있도록 저유조 상부에 교반기를 설치하여 230rpm의 속도로 회전시키면서 오염물질의 농도를 증가시켰으며 이에 대응하는 상대유전율을 측정하였다. Fig.2는 수분 오염량이 0ppm 에서 1500ppm 까지 증가할 때 각 센서에서 측정된 상대 유전율의 변화를 나타내고 있다.

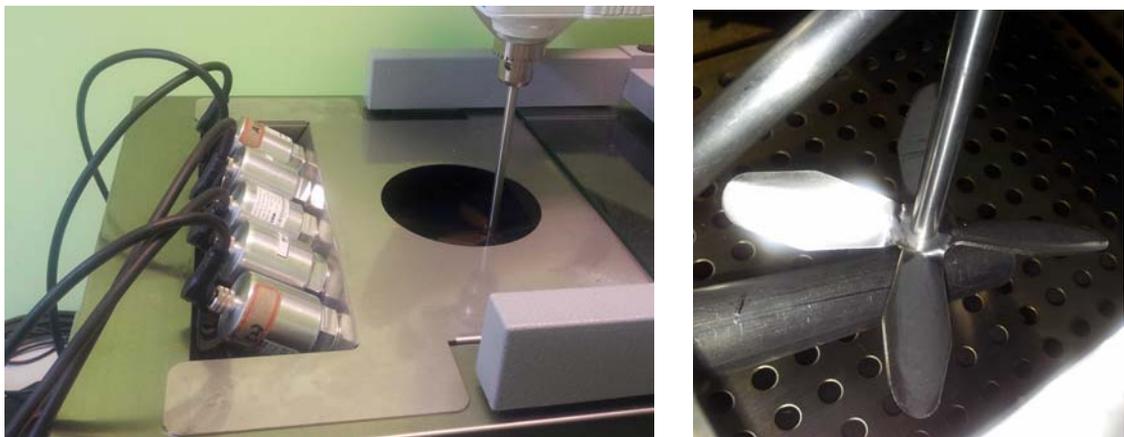


Fig. 1 Oil analysis equipment

그림에서 알 수 있듯이 대체로 수분 오염량이 증가할수록 상대유전율이 증가하여 수분 오염량이 1500ppm 에 도달하면 초기 0ppm 일 경우에 비해 각 센서 별로 약 3 - 8% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 철분 오염량의 경우도 오염량이 증가할수록 상대유전율이 대체로 증가하는 것으로 나타났지만 증가율은 오염량이 1500ppm에 도달하여도 초기 0ppm 의 경우와 비교해 약 0.1 - 0.3% 정도로 미미한 수준이어서 상대유전율과의 상관성은 크지 않은 것으로 나타났다.

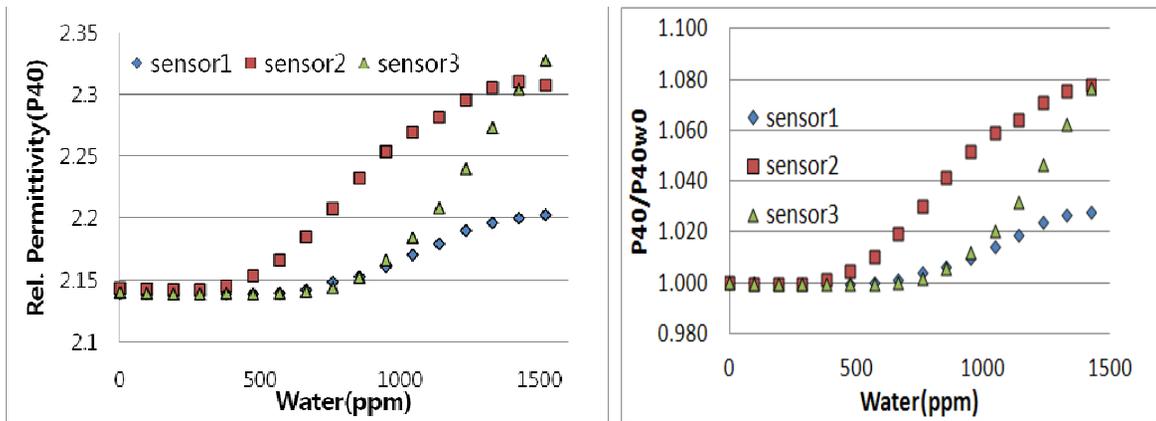


Fig. 2 Oil analysis results(water contamination)

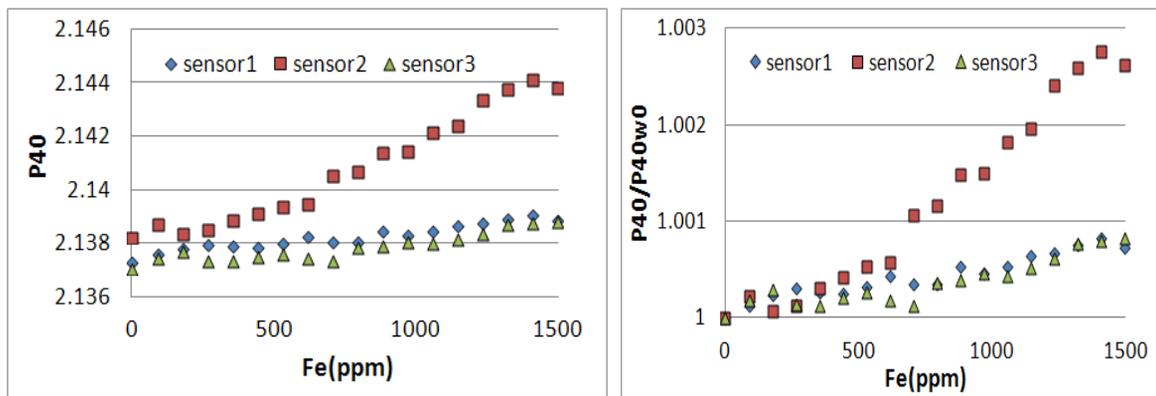


Fig. 3 Oil analysis results(Fe contamination)

다음 테이블 및 그림은 감속기유 신유와 비교하여 사용유에 포함되어 있는 마모 물질의 증감 여부를 검토하기 위하여 동일 편성의 고속철도 차량 감속기를 지속적으로 추적 관리한 결과를 나타내고 있다. 추적 대상 감속기는 임의로 추출한 KTX 동력차의 첫번째 및 두번째 대차의 차축감속기(ARU)와 모터감속기(MRU) 이며 약 4개월(1개월 평균 운영거리 : 약 50,000km)의 간격을 두고 총 3차에 걸쳐 사용유의 시료를 채취하여 분석하였다. 그 결과를 보면 사용기간(주행거리)이 경과할수록 철분 마모분이 모든 감속기에서 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 신유에서는 철분이 거의 검출 되지 않은 점을 감안할 때 감속기 내부 부품

의 마모에 기인한다고 볼 수 있으며 이러한 마모량의 정도는 감속기 내부 상태에 따라 제각각이므로 차량 및 감속기의 사용기간이 길어지면 길어질수록 이러한 정도는 더욱 심해질 가능성이 있다.

Table 1 Measured Fe contamination in the gear box oil of the high speed train

Sampling		Reduction Gear Fe contamination(ppm)			
		1A-ARU	1A-MRU	2B-ARU	2B-MRU
1	New oil	0	0	0	0
2	1 st sampling	38.7	21.5	6.8	17
3	2 nd sampling	46.4	26.9	17.9	19.1
4	3 rd sampling	47.7	36.3	36.3	28

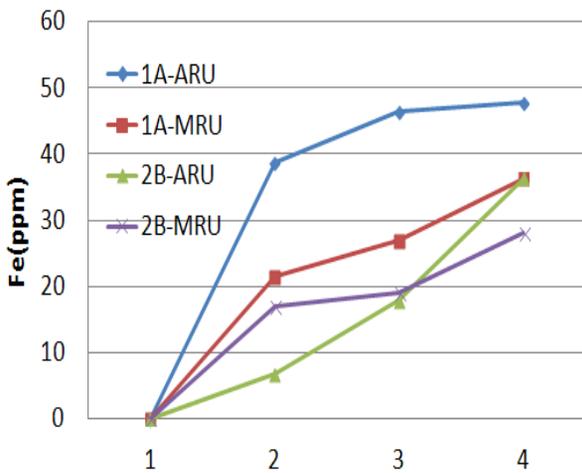


Fig. 4 Increase in Fe contamination



Fig. 5 New and used reduction gear oil

4. 결론

고속철도 차량 감속기의 작동을 원활하게 유지시키는 윤활유 내에 오염물질의 양이 허용 수준 이상으로 증가하면 윤활유의 열화를 촉진 시킬 뿐만 아니라 기계장치의 신뢰성과 수명에 지배적인 영향을 미치므로 윤활유내의 오염물질의 양을 적정 오염도 이하로 유지하기 위한 윤활유 오염 관리가 필요하다. 이러한 오염관리는 지속적으로 윤활유의 상태를 모니터링 하여 수행할 수 있는데 열화 판정을 위해서는 사용유의 시료를 주기적으로 채취하고 분석하여야 한다. 이는 윤활유 내에 포함되어 있는 마모 금속입자의 수나 성분을 분석하여 윤활유가 포함되어 있는 기계장치 내부의 상태를 분해 없이도 간접적으로 이상 징후를 감지할 수 있기 때문이다. 이를 위해 본 연구에서는 고속철도 차량 감속기의 검수기준, 감속기 구조

및 문제점 등을 검토하고 고속철도 감속기 윤활유의 상시 모니터링을 위해 열화센서의 적용성을 검토하였다.

참고문헌.

- [1] C. Byington, R. Brewer, S. Amin(2007) Gearbox corrosion prediction via oil condition sensing and model fusion, *Society of tribologists and lubrication engineers*, Philadelphia, PA.
- [2] 정석규, 곽양양, 송창규, 홍준혁(2008) 광섬유센서를 이용한 오일내 수분량 모니터링 시스템에 대한 연구, *한국정밀공학회 추계학술대회 논문집*
- [3] D. Muir, B. Howe(1996) In-line oil debris monitor(ODM) for the advanced tactical fighter engine, *Technology showcase: Integrated monitoring, diagnostics and failure prevention, Proc. Of a joint conference*, Mobile, AL
- [4] B. Howe, D. Muir(1998) In-line oil debris monitor(ODM) for helicopter gearbox condition assessment, US Department of Defense, Defense Technical Information Center Document
- [5] S.M. Chun(2011) Development of an engine oil quality monitoring system, *the Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers*, 27(3), pp. 125-133
- [6] H.S. Kong, H.G. Han and O.K. Kwon(1999) A Study on the Application of Spectrometric Methods for the Analysis of Lubricant Contaminants and Wear Debris, *Journal of the KSTLE*, 15(2), pp.131-140