

전동차 대치차 기어의 적절한 탐상법에 관한 연구

A study on appropriate nondestructive inspection methods of gear units for rolling stock

이재일⁺ · 이민열* · 이원학* · 손영진**

Jae-il Lee · Min-yeol Lee · Won-hak Lee · Young-Jin Son

Abstract

Typically nondestructive inspection methods of the large gear units are applied to penetrate non-destructive inspection. Nondestructive penetrating inspection put into the small openings of the defect to penetration liquid, remove to excess penetration liquid on the surface of the gear units, spread with developing solution and we can find the small defect by coating with penetration liquid. However, this method has so many issues because of penetrate nondestructive tests on the gear assembly. The steep angle of screw is hard to achieved full penetration and has the problem to remove the excess.

In contrast, the magnetic nondestructive inspection is easy to detect subsurface defects and subtle defects. According to the inspection results the stress concentrates in gear surface, some internal defects and microscopic flaws exist on the gear units are not found to penetrate the nondestructive inspection, but magnetic nondestructive inspection could have found many defect. Therefore, a reasonable method of nondestructive inspection for the large gear units is suitable to magnetic nondestructive inspection.

국문요지

전동차 중정비 시 대치차 기어의 비파괴검사 방법으로는 일반적으로 침투비파괴검사를 적용하고 있다. 침투비파괴검사는 결함의 미세한 개구부 속으로 침투액을 투입하여 표면에 잔류하는 여분의 침투액을 제거하고 현상제를 도포하여 결함지시 모양을 관찰하여 탐상하는 방법이다. 그러나 이 방법은 기어를 조립상태에서 침투비파괴검사를 실시하므로 많은 문제점이 있다. 치면의 각도가 급경사를 이루므로 충분한 침투가 어렵고 과잉제거의 문제가 있다. 그에 비해 자분비파괴검사는 표면 하 결함은 물론 미세한 결함 검출에 용이하다. 시험결과 치면에 응력이 집중되어 내부 결함 및 미세결함이 존재하는 경우 침투비파괴검사로 발견되지 않는 경우가 있으나 자분비파괴검사로 미세한 결함까지 발견 할 수 있었다. 따라서 전동차 대치차 기어의 합리적인 비파괴검사법은 자분을 사용한 비파괴검사가 적합하다고 판단한다.

+ 책임저자 : 서울산업대 철도차량공학과, 학생, 서울메트로
E-mail : sogary11@hanmail.net

TEL : (02)6110-6671 FAX : (02)6110-6999

* 비회원 : 서울산업대학교, 철도차량공학과, 학생

* 비회원 : 서울산업대학교, 철도차량공학과, 학생

* 정회원 : 서울산업대학교, 자동차공학과, 철도차량공학과 교수

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

비파괴검사는 우리나라에 도입된 지 40여 년 동안 산업 분야에서 신뢰성과 품질 향상을 위해 발전해 왔다. 비파괴검사는 제품에 손상을 주지 않으면서 재료의 내부 상태 및 소재의 변형, 결함을 찾아낼 수 있는 방법이다. 철도차량에서도 비파괴검사를 도입하여 여러 분야에서 효율적으로 이용되고 있다. 주로 레일, 대차의 축 탐상, 대차틀, 각종 연결기 등에 비파괴검사가 이루어지고 있으며 철도의 안전운행에 이바지 하고 있다.

철도는 항상 움직이는 물체이므로 응력과 하중에 의해서 수많은 피로 현상이 각종 기기에 누적될 수밖에 없고 만약 예방 정비가 적절히 이루어지지 않는다면 대형 사고로 이어질 수 있다. 특히 철도 차량에서 대차차의 역할은 새삼 언급하지 않아도 중요성을 모르는 이는 없으리라고 생각한다. 대차차는 기어케이스에 내장되어 견인전동기에 의해 발생된 회전력을 피니언과 대차차를 통해 윤축으로 전달하여 열차가 움직이게 된다. 한 쌍의 기어가 동력을 전달할 때 기어의 파손을 크게 나누면 이의 파괴와 잇면의 손상이다. 치면의 파괴는 과대하중으로 단시간에 발생하고 이뿌리부에서 일어나며, 기어 치면의 균열로 파손이 생기면 차륜의 찰상 및 탈선의 위험이 있다. 따라서 중수선 검사 시 대차차 기어의 검사는 전동차의 안전운행을 위한 중요한 작업 중의 하나이다. 철도차량에서 사용되는 비파괴검사로는 일반적으로 육안검사, 초음파탐상검사, 자분탐상검사, 침투탐상검사 등을 들 수 있다.

본 연구는 전동차 중수선 검사 시 대차차 기어에 적절한 탐상법을 적용하여 조기에 작은 결함까지 발견 할 수 있는 방법이 무엇인가를 증명하고 적용 하고자 한다. 우리나라에서 대차차 기어의 탐상법에 대한 연구는 이루어지고 있지만 미약한 상태이며, 일부에서 AE (Acoustic emission)에 대한 연구가 이루어지고 있다. 초음파탐상검사는 표면검사는 물론 미세한 내부결함까지 찾을 수 있지만 기어의 경우는 적용이 어렵다. 따라서 현실적으로 적용 가능한 방법이 침투탐상법과 자분탐상법이다. 여기서는 이 두 가지 탐상법에 대해서 논의 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 침투탐상검사

2.1.1 개요

액체침투탐상은 비파괴검사 방법 중 가장 오래되고 널리 사용되는 방법이다. 표면에 개구되어 있는 균열이나 핀홀 등의 결함을 육안으로 쉽게 관찰할 수 있는 방법으로 착색염료나 형광염료를 함유한 침투액을 적용 후 모세관현상을 이용해서 결함 내부에 침투제를 침투시킨다. 그리고 표면에 잔류하는 잉여 침투액을 제거한다. 세척 및 제거처리가 끝나면 미세분말로 된 백색 현상제를 표면에 뿌리면 모세관 현상에 의해 침투액을 관찰하는 방식이다. 모세관 현상이란 유리 등과 같은 고체에 접촉된 액체의 표면이 상승 또는 낮아지는 현상으로 가장 중요한 자연속의 힘 중의 하나이며, 모세관 현상을 결정하는 요인은 응집력(Force of cohesion), 점착력(Force of adhesion), 표면장력(Surface tension) 및 점성(Viscosity) 등에 의해 좌우되며 모세관 현상을 쉽게 관찰하는 방법으로는 물이 담긴 유리그릇에 가는 유리대롱과 같은 관을 담그면 유리관 안으로 물 분자가 빨려 들어가고, 다른 물 분자에 끌리는 응집력에 의해 유리관 위로 끌려 올라가서 유리관속의 표면장력이 될 때 까지 올라가는 것을 볼 수 있으며 이러한 현상을 모세관 현상이라 한다. 이 탐상법은 세라믹, 주강품, 단조품, 플라스틱, 유리 등의 여러 가지 제품을 검사 할 수 있다.

2.1.2 침투탐상시험의 종류

침투탐상시험은 관찰 방법, 침투액, 세척제 및 현상제의 종류와 처리방법에 따라 몇 가지의 방법이 있다.

2.1.3 관찰 방법에 따른 분류

침투탐상시험은 육안 관찰에 의해 결함지시모양을 식별하지만 관찰 방법의 차이에 따라 다음의 두 가지로 분류할 수가 있다.

1) 염색침투탐상시험(Visible Penetrant Examination)

적색 염료가 첨가되어 진 붉은 색으로 착색된 침투액을 사용하며 자연광 또는 백색광으로 관찰하는 방법이다. 이 방법에 따르면 결함은 백색현상제 도막 위에 적색의 결함지시모양으로서 나타나고 현상제 도막의 백색 Back Ground와의 Contrast에 의해 지시모양이 식별된다. 이 때문에 밝은 장소라면 실내, 실외, 주야를 불문하고 시험을 행할 수가 있으며 시험을 하는데 있어서의 제약은 형광침투탐상시험에 비해 훨씬 적다.

2) 형광침투탐상시험(Fluorescent Penetrant Examination)

형광 물질이 첨가되어 있는 침투액을 사용하여 어두운 곳에서 시험면에 자외선을 조사(照射)시켜 관찰하는 방법이다. 자외선이 조사(照射)되면 결함지시모양은 파장이 550nm 부근의 황색 형광을 발하고, 그것을 어두움 속에서 지각(知覺)함에 따라 결함지시모양을 식별한다. 이 방법을 실시하기 위해서는 시험 장소가 어두울 것과 표면에 부착되어 있는 침투

액에 항상 주의하면서 작업을 진행하기 위해 자외선 조사장치(Blacklight)가 각종 처리를 행하는 장소에는 꼭 필요하다.

2.1.4 침투액 종류에 의한 분류

1) 수세성 침투액

침투시간이 경과한 후 과잉 침투액을 직접 물 세척할 수 있도록 유화제가 섞여있는 침투액이다. 이 방법은 과수세가 되지 않도록 주의해야 한다. 결함 속에 들어 있는 침투액이 수세되는 것을 막기 위해서다.

2) 후유화성 침투액

후유화성 침투탐상검사는 수세성과 마찬가지로 물을 이용하여 잉여 침투액을 세척하는데, 침투액 적용 후 유화제를 적용하여 세척성을 부여하는 점이 다르다.

3) 용제 제거성 침투액

침투탐상검사에서 가장 보편적으로 사용되는 방법이며 휴대가 가능하므로 현장검사에 적합하다. 수세척이 곤란하고, 석유계 용제 또는 할로겐 용제 등의 유기용제를 사용해서 걸레나 종이타월 등으로 기계적으로 제거하는 침투액이다.

2.1.5 현상방법에 의한 분류

1) 습식현상법

습식현상제를 사용하는 방법으로 수세성 형광침투액과 조합해서 대량 생산부품의 검사에 적합하다. 습식현상제는 백색의 미립자 분말을 물에 적당량 넣어 교환한 것으로, 개방용기나 탱크 등에 넣어 사용한다. 현상은 시험체를 현상제 속에 침적시키거나 시험체에 현상제를 뿌려서 현상제의 얇은 막을 표면에 만들도록 한다. 그 후 건조기에 넣어 구분을 증발시키면 백색 미립자 분말의 얇은 피막이 형성된다. 이 피막은 결함속 침투액의 흡출이 일어나 지시모양이 나타난다.

2) 속건식현상법

속건식 현상제는 통상 에어졸 캔에 밀봉되어 있으며, 검사할 때 이것을 분무해서 적용한다. 이 현상제는 물 대신 휘발성이 높은 유기용제를 이용하는 것으로 자연 상태에서 휘발되어 분말의 피막이 형성된다. 소형경량으로 대형부품이나 대형구조물의 부분 검사에 적합한 방법이다. 형상이 복잡하거나 거친 시험체의 경우 적합하지 않다.

3) 건식현상법

현상제를 적용하기 전에 시험체 표면을 건조시켜야 하며 미세한 분말 속에 시험체를 넣었다가 꺼내거나 백색 미세한 분말을 뿌려서 적용한다.

4) 무현상법

무현상법은 현상제를 사용하지 않고 현상하는 방법으로, 과잉침투액을 제거한 후 시험체를 가열하여 결합속에 잔류해 있는 공기나 침투해 있는 침투액의 팽창을 이용해서 결합주변 표면으로 침투액을 빨아내어 결합지시모양을 형성시키는 방법이다.

2.1.6 액체침투탐상검사 절차

침투탐상검사의 절차는 기본적으로 전처리, 침투처리, 세척처리, 현상처리, 건조처리, 검사, 후처리 등으로 구성되는데 검사 방법에 따라 검사 절차는 달라진다. 용제 제거성 염색 침투액-속건식 현상법의 검사절차는 전처리→ 침투처리→ 제거처리→ 현상처리→ 관찰→ 후처리의 순으로 KS B 0816 침투탐상규정에 따라서 실시한다.

1) 전처리

전처리과정이란 시험체의 표면을 침투탐상검사를 수행하기에 적합하게 처리하기 위한 과정으로 시험체 재질 및 검사조건에 따라 적절한 방법을 선택하여 시험체 표면이 손상되지 않는 범위 내에서 침투제가 불연속부 속으로 침투하는 것을 방해하는 이물질 등을 제거해야 한다.

2) 침투처리

시험면에 침투제를 적용시켜서 표면에 열려 있는 불연속부 속으로 침투제가 충분히 침투되도록 하는 과정을 말하며, 침투제 적용방법에는 침지법, 분무법, 붓칠법 등이 있다. 침투제를 적용한 후 과잉침투제를 제거하기 전까지 일정한 침투시간을 두는데, 이러한 침투시간은 검사규격에서 권고한 기준을 따라 적용한다.

3) 세척처리

침투시간이 경과한 후 불연속내에 침투되어 있는 침투제는 제거하지 않고 시험면에 남아 있는 과잉 침투제를 제거하는 과정을 세척처리라 한다. 세척은 주로 물 또는 용제를 사용하여 수행하는데 침투제의 종류에 따라 세척방법이 달라진다.

4) 현상처리

세척처리가 끝난 후 연속부안에 남아있는 침투제를 시험체 표면으로 노출시켜 지시를 관찰하는 과정을 현상처리라 한다. 현상제의 적용은 불연속지시의 선명도 및 명암도가 높아지는 범위 내에서 가능한 한 얇고 균일하게 도포해야 한다.

5) 관찰

침투탐상검사에서 나타나는 지시는 시간이 경과함에 따라 지시의 형태가 변하고 크기가 점점 커져서 나타나는데, 이는 시험체의 합부관정을 결정하는 중요한 과정이기 때문에 관찰시점이 매우중요하다. 관찰시 지시모양의 크기에 변화가 없을 때에는 그 이상시간이 경과한 후라도 무방하다. 지시가 나타났을 때는 관련 지시인지 무관련 지시인지를 확인해야 하는데 명확하지 않은 경우는 재검사를 해야 한다.

2.2 자분탐상검사

2.2.1 개요

자분탐상검사는 강자성체 시험체의 표면 및 표면 바로 밑에 있는 결함을 검출하는 검사방법이다. 검사방법은 시험체에 자장을 걸어 자화시킨 후 자분을 적용하고 결함부에서 발생한 누설자장으로 인해 형성된 자분지시를 관찰하여 결함의 크기, 위치 및 형상을 검출하는 비파괴검사방법이다. 다른 비파괴검사방법과 비교해 볼 때 자분탐상검사 방법은 미세한 표면 균열과 같은 결함 검출에 가장 적합한 검사방법 중의 하나이며, 시험체의 크기나 형상 등에 크게 영향을 받지 않고 검사를 수행할 수 있다. 또한 검사방법이 비교적 간단하고 검사 속도가 빠르며 비교적 검사비용이 저렴한 이점이 있다. 특히 표면결함의 검출에 주로 적용하는 액체침투탐상검사와 비교하면 시험체 표면에서 약 1/4인치 깊이에 있는 결함까지도 어느 정도 검출이 가능하며, 시험체에 얇은 도막이 되어 있는 경우에도 검사가 가능할 뿐만 아니라 그다지 완전한 전처리가 요구되지도 않는다. 자분탐상검사로는 시험체에 존재하는 균열이나 그와 유사한 결함에 대한 검출감도가 매우 높다. 초음파탐상 검사와 병행하여 검사를 수행하면 검출 신뢰도가 매우 높아진다. 모든 결함 중에서도 균열은 응력의 집중이 매우 커서 위험도가 높은 결함이므로 시험체에 존재하는 모든 균열을 검출 할 수 있도록 비파괴검사를 수행해야 하는데, 자분탐상검사는 균열에 대한 검출 정밀도가 가장 높은 비파괴검사방법 중의 하나이다.

자분탐상검사의 주요 3과정은 다음과 같다.

- 1) 검사할 시험체의 자화
- 2) 시험체 표면에 자분적용
- 3) 자분에 의한 지시모양의 관찰 및 기록

자분탐상검사 시 자분지시모양의 형성에 영향을 주는 요인은 다음과 같다.

- 1) 자계의 방향과 강도
- 2) 자화방법
- 3) 불여속의 크기, 형태 및 방향
- 4) 자분의 특성 및 적용방법
- 5) 시험체의 자기특성 및 표면 특성

2.2.2 자분탐상검사의 특성

1) 장점

- ① 강자성체의 표면 및 표면 바로 밑에 존재하는 작고, 미세한 균열과 같은 결함의 검출에는 감도가 가장 높은 검사방법이다. 결함이 표면에 인접해 있고, 선명하고 날카로운 형태라면 명료한 지시를 얻을 수 있지만 표면으로부터 깊이가 깊어지면 희미한 형태로 나타난다.
- ② 결함주위에 자분이 모여 지시를 형성하므로 결함을 육안으로 관찰 할 수 있다.
- ③ 시험체의 크기 및 형태에 큰 영향을 받지 않는다.

- ④ 검사방법이 비교적 간단하다.
- ⑤ 시험면에 비자성 물질이 얇게 도포되어 있어도 검사가 가능하다. 정밀한 전처리가 요구되지 않는다. 자분의 유동이나 직접을 방해하는 기름류나 녹등은 반드시 제거해야한다.
- ⑥ 검사비가 비교적 저렴하다.
- ⑦ 검사 즉시 검사결과를 알 수 있으므로 검사 속도가 빠르다.

2) 단점

- ① 강자성체 재질에서만 효과를 볼 수 있다.
- ② 시험체 표면 근처만 검사가 가능하다.
- ③ 직각방향으로 최소한 2회 이상 검사를 수행해야 한다.
(불연속 방향이 자장과 수직을 이루어야 감도가 좋아지므로 모든 방향의 결함을 검출하기 위해서는 검사면에서 자장의 방향을 수직으로 바꾸어 검사를 수행해야 한다.)
- ④ 검사공정에 따라서 검사 후 탈자가 필요한 경우가 있다.
- ⑤ 전처리 및 후처리가 필요한 경우가 있다.
- ⑥ 시험체가 매우 큰 경우에는 과도한 자화전류가 필요 할 수 있다.
- ⑦ 전기가 접촉되는 부위에 국부적인 가열이나 손상이 발생 할 수 있다.
- ⑧ 지시의 판독에는 검사자의 경험 및 숙련이 필요하다.

2.2.3 극간법 (요크탐상기)

극간법 - 시험체 또는 시험하는 부위를 전자석 또는 영구자석의 자극사이에 위치한다. 극간법은 자화전류의 크기가 변하지 않으므로 기자력이 변하지 않고 일정하게 된다. 그래서 자화력을 인상력으로 규정한다. 교류 요크장비 사용 시 인상력은 최대 극간 거리에서 약 4.5 kg 이상 인상력을 갖고 직류 요크장비는 약 18kg 이상이 되어야 한다.

2.3 기어 결함 종류

대표적인 4가지 종류의 특징에 대해 살펴보고자 한다.

2.3.1 박락(exfoliation)

1) 특징

경화된 치면에 약간의 표면적이 과대하게 하중을 받는 기어의 모재로부터 박편이 되어 벗겨 떨어지는 현상이다. 탄화(carburised) 및 경화(hardened), 질화(nitrided) 및 유도경화(induction hardened) 된 재료에서 발생한다.

2) 원인

케이스의 박락(剝落)은 이(teeth)의 하중을 지지하기에는 너무 얇게 경화된 치면에서 흔히 발생한다. 때로 크랙이 최대 전단응력의 면에서 발생하여 연속적으로 표면에 전파된다. 그러나 일반적으로 표면크랙이 손상을 야기한다.

2.3.2 표면피로(surface fatigue)

1) 특징

점부식은 특히 디텐덤영역에서 연속적인 운전과 함께 계속 형성되며 간헐적으로 진행된다. 특히 이뿌리(root)면에서 빠른 증가는 많은 이 조각이 파손되는 점에서 응력의 증가로 인해 완전한 파손의 원인이 될 수 있다.

2) 원인

기어재료는 반복 충격 하중에 의해 일반적으로 과대응력을 받는다. 파괴적인 점부식은 최대 전단응력 면에서 전파크랙이 분기되고, 하나는 통상의 초기 점부식의 과정을 따르며, 다른 것은 재료내부로 관통한다.

2.3.3 가벼운 닳음(right scuffing)

1) 특징

윤활막의 완전한 부족이나 과열에 의한 윤활막의 파괴의 결과로 손상된다. 가벼운 부식 발생(slight scuffing)에서 맞물리는 기어의 심각한 용착(welding)과 찢음(tearing)과 같은 heavy scuffing이 발생한다. 치면은 무디고 가벼운 거친면이 나타나고 미끄럼속도가 최대인 맞물린 기어의 끝과 뿌리에서 미끄럼 방향으로 미소한 용착면을 관찰할 수 있다.

2) 원인

윤활막의 파괴는 기어 치면이 특정 오일의 임계온도에 도달하고, 끄럼면 사이가 직접 접촉할 때 발생한다. 저점성유가 고점성유 보다 잘 닳는다.

2.3.4 이 파괴(tooth Breakage)

1) 특징

점진적인 점부식(pitting)에 의한 피로파괴이다. 부서진 치면은 저속 피로의 흔적을 나타내고, 영향을 받는 기어의 디텐덤(dedendum) 부분의 점부식(pits)에서부터 파단이 시작 된다

2) 원인

점진적인 점부식은 기어가 피로한계 이상의 표면응력 강도에서 운전되는 것을 나타낸다. 표면에서 발생된 크랙은 재료 내부로 계속 침투한다.

2.3.5 기타결함

1) 균열(crack), 간섭에 의한 손상, 이물질 손상, 부식, 전식, 팽윤 등이 있다.

2.4 대치차 기어의 명칭

2.4.1 그림 4-1은 대치차 기어의 각부 명칭을 나타내고 있다.

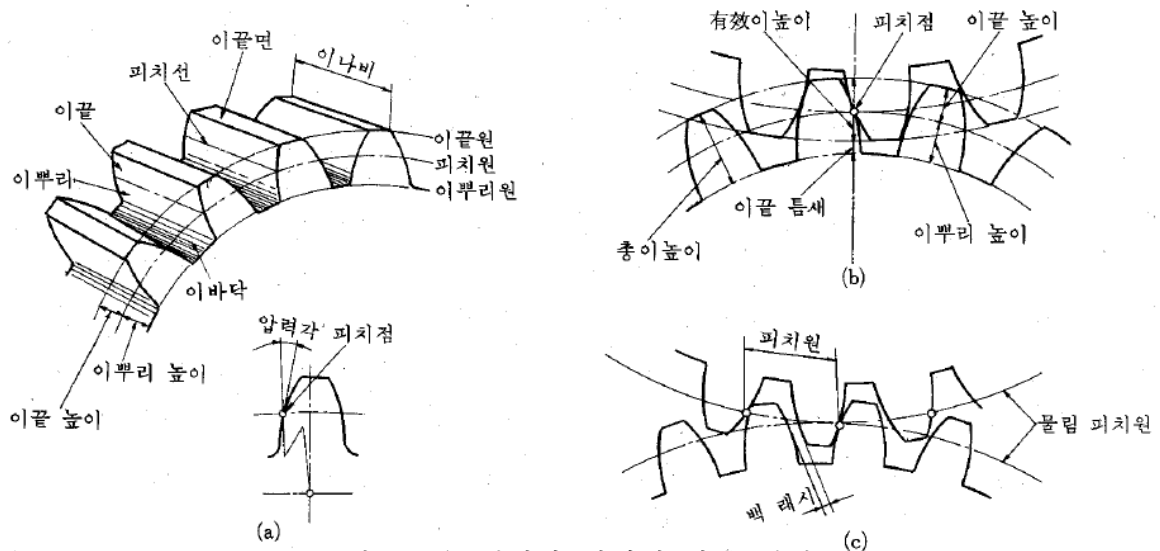


그림 4-1은 대치차 기어의 각부 명칭

2.5 침투탐상법과 자분탐상법의 비교

2.5.1 그림5-1은 대치차 기어에 용제제거성 염색침투액 속건식 현상법을 적용하여 KS B 0816의거 침투탐상을 실시했으나 결함 지시를 얻지 못했다.



그림 5-1

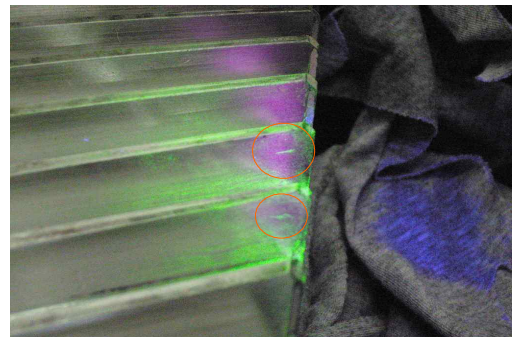


그림 5-2

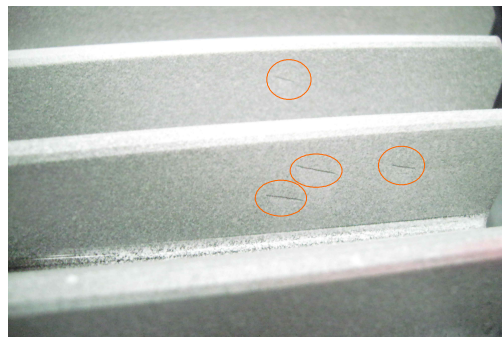


그림 5-3

그림 5-2는 자분탐상법으로 형광자분을 적용하여 요크장비로 탐상한 결과이다. 미세한 결함에 자분이 모여 결함지시를 형성하고 있다. 자분탐상법 중 감도가 가장 좋은 방법이다.

그림 5-1과 그림 5-2는 동일한 대치차로 탐상법을 각각 달리하여 적용한 것이다. 그림5-1은 침투탐상을 5회 실시하여 아주 흐리게 한 번 지시모양을 확인할 수 있었다. 그림에서는 결함을 먼저 알고 침투탐상을 적용했으나 과잉제거로 결함의 모습을 잘 확인할 수 없었다. 그림 5-1은 미세한 결함의 경우 침투탐상으로 결함 확인이 불가능한 경우다. 그러나 형광자분 탐상법과 비형광자분탐상법으로 4회 탐상을 실시하여 100%결함을 발견할 수 있었다. 결함의 깊이는 0.1~0.3mm정도의 미세한 선형결함 이었다.

그림 5-3은 비형광자분탐상법으로 탐상을 실시하여 4개의 결함지시를 발견 했으나 침투탐상 결과 결함지시를 얻지 못했다.

2.6 실험결과 및 고찰

2.6.1 침투탐상검사

침투탐상법을 기어의 치면에 적용하는 경우 미세한 결함을 발견하지 못 할 수 있는 가능성이 있다. 침투제의 적용 시 치면의 각이 톱니바퀴 구조로 경사져 있어 충분한 침투가 어렵다. 또한 침투제의 과잉제거로 결함 지시를 확인할 못하는 경우가 종종 발생했다. 제거가 덜 된 부분은 유사지시를 만들어 작업자의 판단을 흐릴 수 있다. 시험의 중간에 또는 조작 방법이 잘못되었을 때, 흠에 기인한 것인지 의사지에 의한 것인지 판독이 어려운 경우는 재시험을 실시해야 한다. 재시험 시에는 전처리를 포함해서 처음부터 순서대로 다시 정확히 실시해야 한다. 침투탐상검사로 결함 깊이를 예측 할 수 있었다. 결함 깊이가 깊은 경우 현상 시 배어 나오는 침투액의 양으로 결함의 깊이를 추정 할 수 있었다. 침투탐상은 작업자의 기술력에 따라서 결함의 정도가 다르게 평가될 수 있으므로 주의해야 한다.

2.6.2자분탐상검사

자분탐상검사는 자화력을 이용하므로 표면 하 결함을 얻을 수 있어 신뢰성을 얻을 수 있는 탐상방법이다. 운행 시 반복 응력으로 치면의 피로감이 많아지면 피팅 현상이 일어나며, 그곳에서는 미세결함이 성장되고 있었다. 특히 20년 이상 되는 기어는 반복 충격하중이 누적되어 피로도가 크게 증가하여 치면 손상이 이루어지면서 결함이 나타나는 경우가 있었다. 기어에 가장 결함검출이 뛰어난 탐상법은 형광자분 탐상법이며, 이 방법을 사용하여 침투탐상에서 발견하지 못한 미세결함을 종종 발견했다. 그러나 탐상이 끝난 후는 탈자를 해서 치면의 응력을 제거해야 한다. 치면에 남아 있는 자분은 세척제 및 헹굼으로 철저히 제거하여야 하는 문제점도 있다. 실험에서 나타난 것처럼 기어의 자분탐상 시 크랙의 발견은 재검사에서도 동일하게 발견 되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 전동차의 대치차를 탐상하는 방법으로 침투탐상검사와 자분탐상검사를 비교 하였고, 결함 검출에 효과적인 방법을 재조명 하였다. 대치차 치면에 발생하는 결함을 살펴봄으로써 육안검사 및 탐상 시 현 상태를 정확하게 파악하여 결함의 형태 및 예상되는 결함에 대해 능동적으로 대처하여 안정성을 확보하고 신뢰성을 높이고자 하였다. 대치차 기어에 2가지 탐상법을 적용하여 얻은 결과는 다음과 같다.

- (1) 침투탐상검사에서 정확한 표면결함 검출과 평가를 위해서는 필요한 요소들이 충족되어야 정확한 탐상이 이루어질 수 있었다. 침투탐상검사에서 검출 가능한 결함은 표면결함이고 표면 하 결함이나 내부결함은 발견할 수 없었다. 용제제거성 염색침투액 속건식현상법을 사용할 때의 결함 검출 능력은 형광자분탐상검사나 비형광자분탐상검사에 비해 다소 떨어지는 것을 확인하였다.
- (2) 자분탐상검사는 극간법을 사용하였고 요크탐상기를 이용하여 표피효과로 인해 표면부위에 자속이 집중되어 표면결함의 검출에 효과적인 것을 확인할 수 있었다. 결함의 위치와 방향을 정확히 알 수 없으므로 요크탐상기를 여러 방향으로 운용하여 결함을 발견했다. 표면 하 결함도 간혹 발견했다. 발견되는 결함의 형태는 점부식(pitting), 피로박리, 전식, 선형결함, 원형결함 등이 발견되고 있다.
- (3) 반복 및 충격하중에 의해 결함이 내부로 진행되는 경우는 중대한 사고로 이어질 수 있으므로 전동차 안전운행을 위해 20년 이상 된 대치차는 철저한 관리가 요구된다.
- (4) 침투탐상검사와 자분탐상검사에서는 탐상조작절차 및 검사자의 기술능력 등이 결함 검출에 큰 영향을 주는 것을 볼 수 있었다. 비파괴검사자의 탐상에 관한 지속적인 교육과 검사자의 적극적인 관심이 조화를 이룬다면 결함을 조기에 발견하여 열차 안전운행에 기여하리라 생각한다.

따라서 위의 탐상결과와 같이 중수선 검사 시 대치차의 효율적인 탐상방법은 초기에 탐상감도가 좋은 자분탐상법으로 탐상을 실시하여 미세한 결함까지 찾아낸 후, 침투탐상검사나 다른 검사방법으로 결함을 중복 확인하여 신뢰성을 높이는 것이 바람직하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박은수, 박익근, 한국비파괴검사학회, "비파괴검사개론", 골드, 2008.
2. 양보석, "기어의 결함진단" 부경대학교 기계공학부 지능역학연구실, PP-3-25.
3. 김승대, "비파괴시험실기실습", 세진사, 2007.
4. 탁경주, "비파괴검사Ⅱ", 한국산업인력관리공단, 2004.
5. 임선종, "한국자동제어 기계학술회의 논문집" PP-1353-1356, 1994.
6. 하기수, 한국비파괴검사학회, "침투탐상검사", 골드, 2005.
7. 이의중, 한국비파괴검사학회, "자분탐상검사", 골드, 2007.
8. 최병근, "Application of Envelop Analysis and Wavelet Transform for Detection of Gear Failure", 대한기계학회논문집 A권, 제32권 제11호, PP-905-910, 2008.