



전기철도에 있어서의 전차선로 진단기술



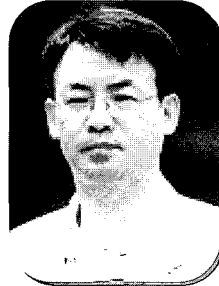
장동욱
한국철도기술연구원
전기·신호연구본부
주임연구원



박현준
한국철도기술연구원
전기·신호연구본부
본부장



이기원
한국철도기술연구원
전기·신호연구본부
주임연구원



최종선
홍익대
전기정보제어공학과
교수



김정수
홍익대
전기정보제어공학과
명예교수

1. 전기철도의 전차선로

전기철도차량의 전력공급은 팬터그래프와 전차선의 접촉점을 매개로하여 행하여지고 있다. 전기철도차량에 탑재된 팬터그래프는 진행방향에 대해서 고속으로 이동하면서, 전차선은 팬터그래프와의 상호작용에 의하여, 전기철도차량의 진행방향과는 수직적인 운동을 행하는 시스템이다. 이 운동에 대한 해석은 철도특유의 인터페이스 연구로써, 기초연구를 포함하여 이제까지 많은 검토가 이루어져 왔다. 한편, 전

차선, 급전선 등으로 구성된 전차선로의 유지관리에 는 당연히 상당노력이 필요하며, 한번 전차선로의 사고가 발생하면, 차량운행에 상당한 영향을 미치기 때문에, 매우 큰 운전장해가 되는 경우가 많다. 이 때문에, 전차선의 검사를 효율적이면서 정밀하게 행하기 위한 진단방법의 연구를 실시하고 있다.

그림 1은 일반적인 전기철도의 전차선로를 나타내고 있다.

2. 전차선로 진단기술

전차선로의 진단방법은 영업용차, 보수용차에 의한 차상진단, 지상으로부터 자동적으로 선조류의 검사 등을 시행하는 지상 진단, 및 전차선 설비에 센서를 부착하는 상태감사시스템의 3가지가 고려되고 있으나, 그 중 차상진단으로써 전기궤도 종합시험차 및 전철시험차로 측정에 이용되는 측정기의 원리와 전차선 진단용 측정기 개요에 관해 서술하기로 한다.

2.1 차상에서의 전차선진단

2.1.1 전차선 마모상태 진단

전차선의 상태를 진단하기 위해서, 차상에서 검사를 행하는 전기검측차로 불리는 전용의 차량이 효율

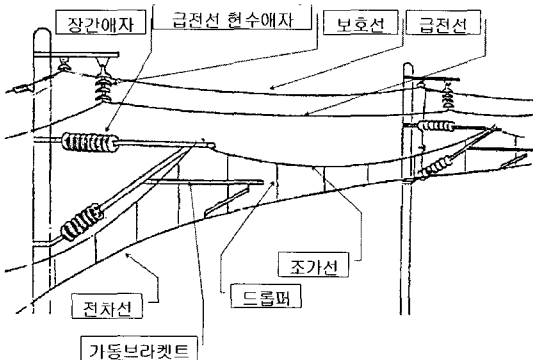


그림 1. 전차선로.

적으로 사용되어, 전차선의 마모, 편위, 높이 등을 연속적으로 측정하고 있다. 보전상, 가장 중요시되는 전차선마모에 대해서는, 전차선의 접면을 비접촉으로 측정하고, 그 측정치에서 잔존직경으로 환산하는 방법이 취해지고 있다. 일본철도에서는 레이저식, 토우큐우(東急)전철에서는 나트륨램프방식이 채용되어 있다.

전기철도에 있어서 지상에서 차량으로의 전력공급은 전차선과 팬터그래프의 접촉을 통해 이루어지고 있다. 이렇게 전차선과 팬터그래프가 상시 접촉하여 운행을 하고 있으므로 전차선 잔존직경을 측정해 전차선의 마모관리를 적절하게 하는 것이 매우 중요하다.

현재 전차선 마모측정은 1980년에 실용화된 레이저식 전차선 마모측정장치를 이용하고 있으며, 원리도를 그림 2에 나타낸다. 본 장치의 측정원리는 단일

파장인 Argon·이온레이저(파장 514.5[nm], 출력 170[mW])광선을 회전거울을 끼워 전차선의 폭 방향으로 주사·조사해, 그 반사광을 광전자 배증관에 수광 검출하는 것이다. 레이저광선은 셔터기구를 통과해 A미러(구조상 제한되 치수가 사용되고 있다)로 90도 광로를 바꿔, 제1렌즈를 통과한 후 B점 편위 방향(선로와 직각방향)으로 전기 검측차인 경우는 1초간 500회, 전철시험차인 경우는 1초간 1000회 주사된다. 회전미러로부터의 레이저광선은 제1미러, 제2미러, 제3미러(오목거울)를 거쳐 전차선 접면에 타원상으로 집광된다. 이 회전미러를 제3미러인 요면경의 집점 위치에 배치되어 있으므로, 요면경에서 반사되는 레이저광선은 전부 평행으로 전차선이 궤도중심에서 좌우 350[mm]범위에서 편위되더라도 동일 조건으로 측정 가능하게 되어있다.

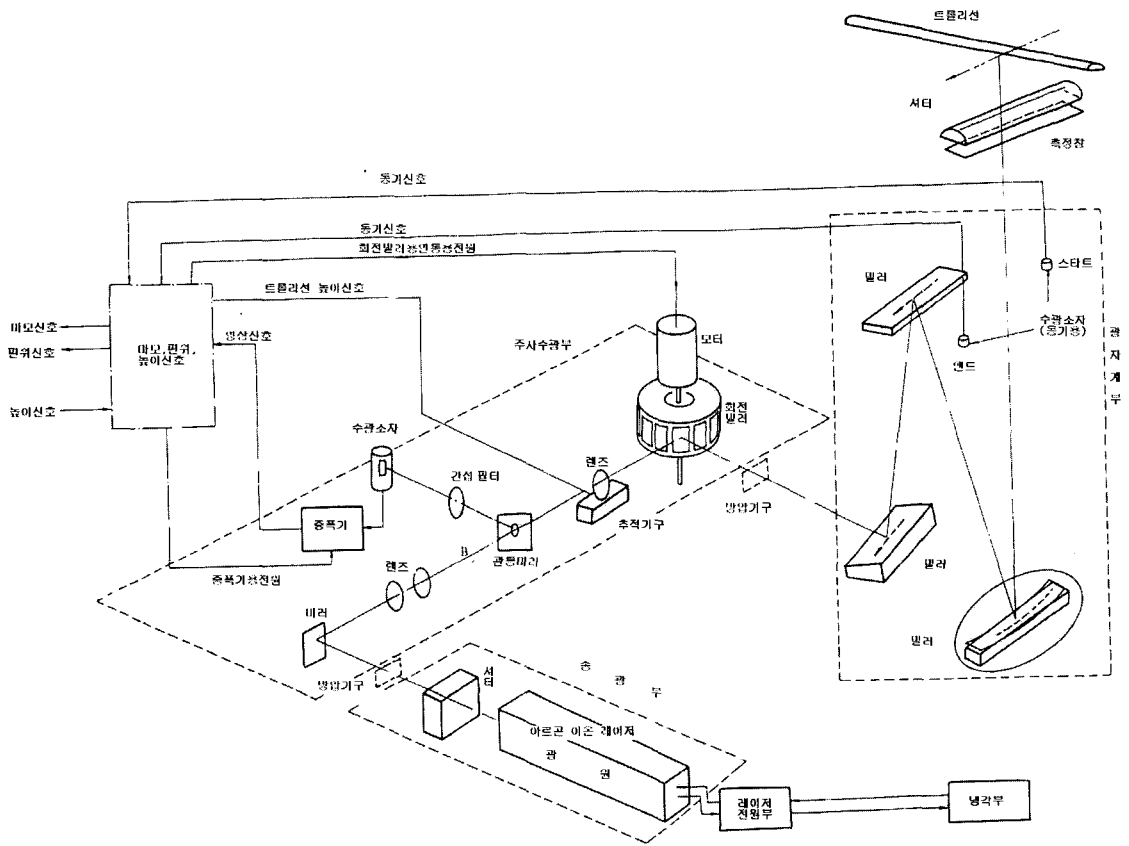


그림 2. 레이저식 전차선 마모 측정장치 동력원리도.



전차선에서 반사된 광은 조사광의 역경로(제3미러, 제2미러, 제1미러, 회전미러, 제2렌즈)를 거쳐 구멍이 뚫린 미러에 이른다. 반사광은 구멍 뚫린 미러에서 90도 광로를 변경, 간섭필터에서 트롤리선 집면에서의 반사광만을 검출해 수광소자에 입력된다. 수광소자에서는 반사광을 전기신호로 바꿔 트롤리선 집면에 상당하는 영상신호를 출력한다. 단, 전차선 높이는 항상 변화하므로, 항상 전차선면에 레이저광이 초점을 있도록 되어 있다.

2.1.2 이선

팬터그래프는 전차선에 접촉하여 집전하고 있으나 팬터그래프의 접촉력이 0으로 되어 전차선으로부터 분리되는 것을 “이선”이라고 한다. 이러한 이선은 전차선과 팬터그래프간에 아크 방전을 일으켜 전차선의 열화 및 손상의 원인이 된다. 이러한 이선을 측정하는 방법은 분압식 이선측정법, 광학식 이선측정법, 전류식 이선 측정법 및 접촉력 측정이 있다.

① 분압식 이선 측정법

이 방법은 직류전기철도구간에서 사용되는 방법으로, 그림 3에 나타난 것처럼 팬터그래프를 주 회로에서 잘라내고, 1.5[MΩ]정도의 저항 분압기를 끼워 접지시켜 가선전압을 약 1/20으로 내려 측정한다. 즉, 팬터그래프에 가선전압이 부하되는지 어떤지로 팬터그래프와 전차선이 접촉하는지 떨어지는지를 검지하는 것이다. 이 방법은 제3궤조 방식에 따른 직류전기철도구간에서도 적용된다.

이 측정법은 이선의 검지가 역행, 타행 등의 운전조

건에 좌우되지 않으며, 정밀도가 높은 것이 특징이다. 한편 팬터그래프를 무부하로 해야 하는 제약이 있어, 한 개의 팬터그래프열차에는 적용할 수 없다.

② 광학식 이선 측정

집전하고 있는 팬터그래프에서 이선이 일어나면, 그것에 따른 아크광이 발생한다. 그래서 이 광의 강도를 광전변환소자에 의해 전기신호로 변화하고, 이선을 측정하는 것이다. 광전변환소자로서는 실리콘, 갈륨, 비소, 린 계의 photo diode나 광전자 증배관이 이용되고 있다. 그림 4에 장치 원리를 또한 그림 5에 차량의 지붕 위에 광학식 이선 측정기와 ITV카메라를 설치한 상황을 보여준다. 본 방법은 교류, 직류의 모든 경우에도 통용되는데, 이선을 등의 측정치는 아크광의 측정이므로, 기계적인 접촉, 분리와 꼭 일치하지는 않는다는 것과 아울러, 운전조건 혹은 주위의 밝기에 영향을 받는다. 그러나 아주 간단히 측정할 수 있으므로

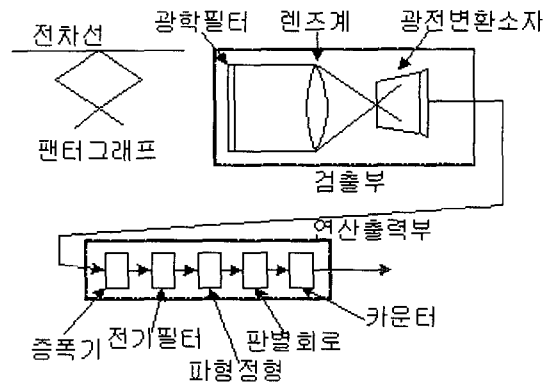


그림 4. 광학식 이선 측정법(직류·교류).

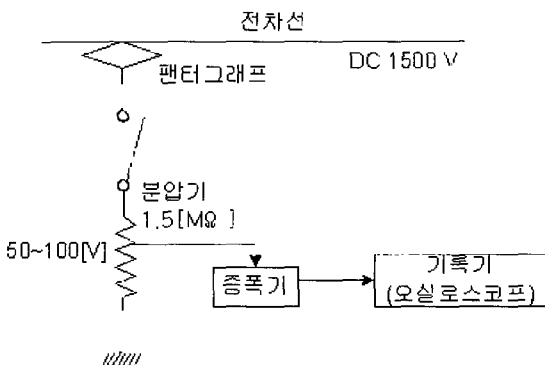


그림 3. 분압식 이선측정법(직류·무집전).



그림 5. 광학식 이선 측정기·ITV카메라의 차량 설치 상황.

로, 상대비교를 하는 경우 등에 많이 이용되고 있다.

③ 전류식 측정법

여러 개의 팬터그래프가 고압모선으로 접속되는 열차에서는 어떤 팬터그래프가 이선하면 집전전류는 짧은 시정수 간에 0이 되며, 접촉되어 있는 팬터그래프의 집전전류가 증가한다. 전류식 이선 측정법은 이와 같은 현상을 이용하여 이선을 검출하는 것으로 팬터그래프의 집전 전류를 측정한다.

그림 6에 직류전차의 경우를, 그림 7에 교류전차의 경우 측정 배치 예를 나타낸다. 모선에는 통상 케이블 등 절연전선이 사용되고 있으므로, 저압측에서 집전

전류를 clamp meter로 측정하는 것이 가능하다. 전류의 측정 파형을 컴퓨터에 의해 처리하고, 이선을, 이선의 회수, 이선의 지속시간, 그 분포 등의 통계량을 구할 수 있다.

이 방법으로는 팬터그래프의 집전전류가 어느 정도 큰 역행 시에 측정하기 쉬우나, 팬터그래프간 전류가 흐를 때는 집전 전류치가 영향을 미치므로, 이것에 따른 측정치는 영향을 받는다. 다시 말해 집전 전류가 큰 경우에는 이선이 발생해도 전류가 0이 되기 어려우므로, 이선이 검출되지 않는 경우가 발생하기 쉽다.

전류식 측정법과 광학식 측정법에 의한 결과의 차이

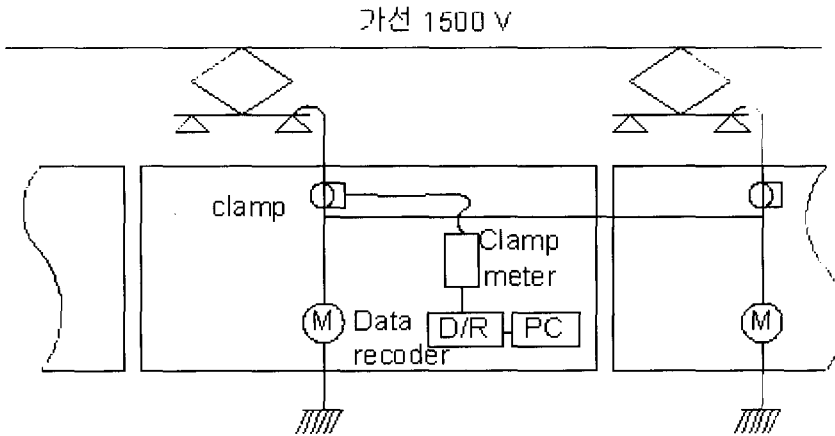


그림 6. 전류식 이선 측정법(직류전차).

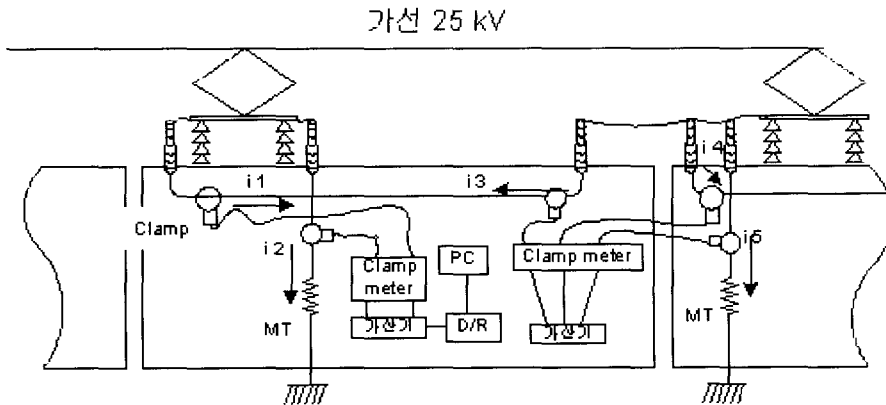


그림 7. 전류식 이선 측정법(교류전차).



는, 측정원리에서 피할 수 없는 것이나, 해외의 연구기관에 있어서는 이 차이에 대한 해석적연구를 행하여, 전류식 이선데이터로부터, 광학식에 의한 결과를 직류급전회로의 경우에 대해서 추정할 수 있게 되었다. 현재, 교류급전회로에 대해서 검토를 추진하고 있는 중이다.

2.1.3 전차선 상태측정

최근, 전차선상태를 측정하는 방법으로서 주목받고 있는 것이, 전차선과 팬터그래프간의 접촉력이다. 접촉력은 위에서 서술한 이선을보다도 상당히 많은 전차선상태에 대한 정보량을 가지고 있다고 생각된다. 측정에 대해서는 예전부터 시행되어져 오고 있으나, 여러 가지 과제도 있어 본격적인 실용화에는 시간을 들 수밖에 없다. 최근, strain gauge에 의해 팬헤드(Pan-head)의 전단력(shear force)과 복원스프링의 하중을, 또한 가속도계에 의하여 팬헤드의 관성력을 측정하여, 접촉력을 측정하는 방법이 개발되었다. 접촉력이 갖는 정보에서 얻을 수 있는 가능성이 있는 것으로, 전차선 뒤틀림, 전차선마모의 진행예측, 파동전반속도 등의 추정 등을 판단할 수 있으므로, 이들에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

또한, 전차선의 요철측정결과에서 팬터그래프통과시의 동특성을 추정하여 평가하는 것도 검토하고 있고, 평가 등이 실시되고 있다.

한편, 팬터그래프 사고원인의 대부분은 전차선로 설비와의 충돌에 기인하는 경우가 많다. 이 때문에, 적절한 센서를 팬터그래프에 설치하여, 전차선로의 이상을 검출(진단)하는 것이 고려되고 있다. 이미, 가속도계를 실제로 설치하여, 설비의 불량개소를 검출하고 있는 예도 있다.

팬터그래프에 가해지는 충격력은, 상기한 접촉력과 마찬가지로, 여러 가지 정보를 가지고 있다고 생각되어진다. 이 때문에, 센터 설치위치와 충격력(파형을 포함)의 관계에 대해서 기초적인 검토를 실시하고 있다. 일본의 경우 집전시험장치로, 인위적인 전차선의 불량개소(침선불량)를 작성하여 주행시켰을 때의 (그림 8)이선과 팬터그래프에 설치된 가속도센서의 측정 파형 예를 그림 9에 나타낸다. 침선설치불량개소에 충돌한 순간, 큰 가속도와 이선이 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은, 전차선로의 불량개소에서 팬터그래

프가 받는 충격력을 측정하는 것으로, 설비·진단이 가능해지는 것을 시사하고 있어, 향후, 전차선로의 상태가 좋지않은 종별과 가속도와와의 관련 등에 대한 연구가 계속될 필요가 있다.



그림 8. 침선 설치불량 상황.

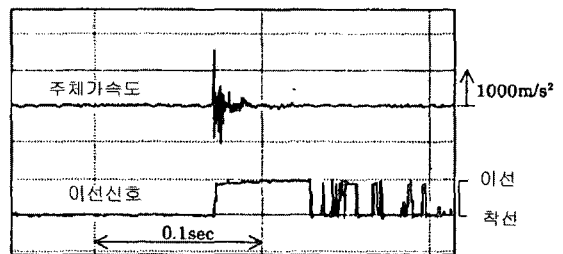


그림 9. 침선 설치불량개소에서 가속도와 이선.

2.2 지상에서의 전차선진단

위에서 기술한 차상에서의 전차선진단은 전차선의 진단이 중심이 된다. 그러나 전차선 이외의 전차선로 구성물인 급전선과 조가선 등의 진단은 지금 지상에서 행하지 않을 수 없기 때문에, 지금까지 급전선, 조가선 등의 전선류의 부식열화 판정장치 등을 개발하여왔다.

이들의 측정 기본원리로서 와전류(eddy current)를 이용하고 있고, 예를 들면 강심알루미늄선(ACSR)의 경우 부식량에 따라서 와전류가 변화하는 것, 또한, 주파수가 낮으면 알루미늄선에는 와전류가 거의 발생하지 않고, 역으로 주파수가 높아지면 알루미늄선에는 와전류가 많이 발생하여, 강선의 와전류는 주파수가 낮을 때보다 발생이 적은 것 등에 의한다. 지금까

지 개발한 것으로서 급전선을 검사하는 가선검사 로봇, 전차선 납땜(soldering)부 검출기가 있다. 또한 강심전차선의 강심이 노출되었을 때에 그것을 검출하는 장치를 개발하고 있다. 마모관리를 위하여 강심을 갖는 전차선의 제작이 가능하면, 개발하고 있는 장치가 유효하게 활용 가능할 것으로 생각된다. 또한, 강심 검출장치 및 전차선 납땜부검출기의 측정원리를 그림6에 나타낸다. 그림과 같이 코일 1에서 교번자계(alternating field)를 주면, 전차선내에는 와전류가 발생한다. 이 와전류의 영향은, 측정코일의 유기전압의 변화로서 나타난다. 최근에는, 터널 내의 급전선 등에 사용되는 ACSR의 압축접속 후에 알루미늄접속관(슬리브)의 외부에서 슬리브내부의 시공상태를 판정하는 방법에 대한 검토를 실시하고 있다. 그림7은 시작단계의 불량 판정장치 외관 및 그 측정 예를 나타낸다. 그림7에서, 알루미늄 접속관 내부의 강 슬리브의 위치를 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

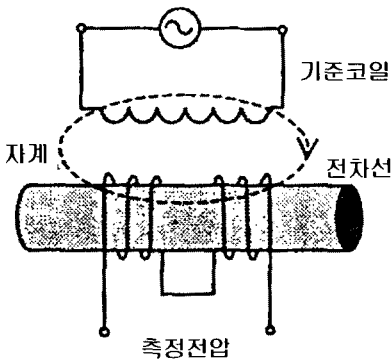


그림 10. 와전류에 의한 측정원리(강심검출, 납땜부검출).

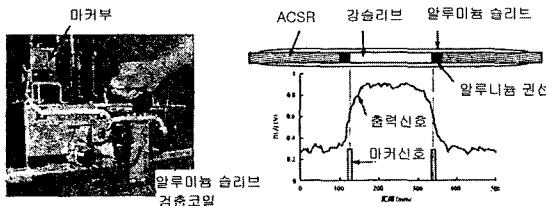


그림 11. 슬리브 양부판정장치와 측정파형 예.

3. 결론

전차선로의 사고 및 장애 발생시에는 인명사고 및 차량이 운행하지 못하는 등 중대한 문제를 일으키므로 전차선로의 유지보수 및 진단 감시는 상당히 중요한 부분이라고 할 수 있다. 전차선로 관계에 관한 연구 개발 중에, 감시·진단에 대해서 이미 실용화된 것에서 기초연구적인 내용까지 여러 예를 소개하였다.

감시·진단기술을 발전시켜가며, 중요한 것은 센서, IT기술 등의 기술을 얼마만큼 정확하게 도입하는 가이다. 그러나, 대상물인 시설비를 갖추고 있지 않기 때문에 사업자와 연구원 학계가 서로 지도, 협력이 필요하고 지속적인 지원이 있어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 池田充, 長坂整: 접촉력의 측정방법과 가선설비 진단의 대응에 관한 연구, 철도총연보고, Vol. 16, No. 6, 2002.
- [2] 池田充: 가선·팬터그래프간의 접촉력측정에 의한 전차선 진단기법의 검토, 일본기계학회 제 2회평가·진단에 관한 심포지움, p. 105, 2003.
- [3] 網干光雄: 전차선 요철측정결과에 근거한 가선 상태의 동특성평가, 철도총연보고, Vol. 18, No. 6, 2004.
- [4] 宮口浩一: 팬터그래프 간이가속도계에 의한 가선진단기술의 개발, 철도와 전기기술, Vol. 13, No. 10, 2002.
- [5] 福谷隆宏, 久美俊一: 팬터그래프 충돌가속도에 의한 전차선 이상 진단의 검토, 철도총연보고, Vol. 14, No. 6, 2004.
- [6] 佐藤勇輔, 島田健夫三: 가선검사로봇의 개발, 철도총연보고, Vol. 14, No. 6, 2000.
- [7] 佐藤勇輔, 島田健夫三: 전차선로 설치부 검출기의 개발, 平成14년 전기학회전국대회, No. 5, p. 227, 2002.
- [8] 佐藤勇輔, 島田健夫三: 강심을 이용한 전차선마모 검지장치의 개발, 철도총연보고, Vol. 18, No. 6, 2004.
- [9] 島田健夫三, 佐藤勇輔: ACSR슬리브의 양부판정



(그의4), 平成16년 전기학회전국대회, No. 5, p. 156, 2004.

[10] 中道 好信, 電力設備の監視・診断技術に関する開発動向, RTRI REPORT Vol. 18, No. 6, 2004.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 장동욱

◆ 학력

- 1998년 충북대 전기공학과 공학사
- 2000년 충북대 대학원 전기공학과 공학석사

◆ 경력

- 2000년 - 현재 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부 주임연구원

성명 : 박현준

◆ 학력

- 1981년 홍익대 전기공학과 공학사
- 1983년 홍익대 대학원 전기공학과 공학석사
- 2004년 홍익대 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 1986년 - 1991년 삼성전기(주)정밀기기연구실 과장
- 1992년 - 1996년 현대중공업(주)중앙연구소 책임연구원
- 1997년 - 현재 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부 본부장

성명 : 이기원

◆ 학력

- 1996년 미국 CSUN 기계공학과 공학사
- 1997년 미국 RIT 기계공학과 공학석사

◆ 경력

- 1998년 - 현재 한국철도기술연구원 전기·신호연구본부 주임연구원

성명 : 최종선

◆ 학력

- 1983년 서울대 금속공학과 공학사
- 1985년 Ohi State Univ. 전기공학과 공학석사
- 1987년 Purdue Univ. 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 1994년 - 현재 홍익대 전기정보제어공학과 교수

성명 : 김정수

◆ 학력

- 1960년 연세대 전기공학과 졸업
- 1974년 홍익대 대학원 전기공학과 공학석사
- 1985년 홍익대 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경력

- 1985년 - 현재 홍익대 전기정보제어공학과 명예교수

