

철도 선로전환기 기계식 밀착검지기 개발

(The Development of Mechanical Sensing Device of Railway Point)

유재현* · 신명호

(Jea-Hyun Ryu · Myoung-Ho Shin)

요 약

철도 정거장 구내에서는 본선으로부터 측선으로 진로를 바꾸기 위하여, 즉 다른 선로로 분기하기 위하여 분기지점에 설치한 궤도설비를 분기기라 하며, 분기기의 방향을 전환시키는 장치를 선로전환기라 하는데, 이 장치에 문제가 발생하면 심각한 상황이 초래될 수 있다. 이 장치에는 정밀한 기기와 센서가 설치되어 사용되는데, 장애가 많이 발생하며 열차 탈선이라는 극한의 상황까지 이를 수 있다. 본 논문에서는 사용중인 안전장치들을 장애와 사고를 정밀 분석하고 이를 대체할 수 있는 장치를 개발하였다. 이 장치는 낙뢰에 의한 과전압의 영향을 받지 않도록 설계되어서 열차운행이 원활하게 된다.

Abstract

To change rail tracks from main track to another track, it needs a device that is called the turnout point. If the point which is composed of accurate parts and complex sensors does not work, And also, serious problems will be arisen. However, there are serious problems by the failure of the point. In this paper, after analyzing the failures of the conventional points, a new point is suggested. The proposed point is not affected by the surge caused by lightning.

Key Words : Mechanical Sensing Device, Railway Point

1. 서 론

21세기에 이르러 산업화와 함께 긴밀하게 발전하고 있는 철도산업은 100년이 넘도록 꾸준한 성장과 발전을 거듭하고 있다. 1899년 노량진~제물포간을 연결하는 국내최초의 철도를 시발점으로 하여 육상

교통의 여객 및 화물의 수송을 담당하지만 주로 여객을 수송하고 있다.

수신호에서 시작한 철도는 고속화 대량화와 더불어 첨단기술들이 집약되게 되었다. 그럼에도 불구하고 철로 변에 설치되는 첨단시설들은 열차운행에 반드시 필요하지만 열악한 기후조건과 주변 환경들로 인해 장애가 발생하여 열차운행에 막대한 지장을 주기도 하며, 심지어는 열차탈선이라는 대형사고로 이어지기도 한다.

철도에서 열차의 운행방향을 제어하는 선로전환

* 주저자 : 서울산업대학교 산업대학원 전기과
Tel : 02-916-5250, Fax : 02-3299-7122
E-mail : gfour@korail.com
접수일자 : 2007년 5월 8일
1차심사 : 2007년 5월 17일, 2차심사 : 2007년 11월 7일
심사완료 : 2007년 11월 14일

기의 오작동으로 열차탈선이라는 대형사고로 이어지기 때문에 각별한 주의와 점검을 요하는 품목이다. 열차의 진로를 바꾸주는 선로전환기에서 근접식 밀착검지기는 기본레일과 가동레일을 검지하는 전자장치로 레일에 부착되어 사용되는데, 4계절의 큰 온도차와 낙뢰와 같은 이상 유도전압의 발생시 전자부품의 소손으로 열차운행에 차질을 가져오고 있다.

본 연구에서는 기존의 근접식 밀착검지기 센서방식을 탈피하여 선로전환기에서 기본레일과 가동레일의 밀착을 검지하는 기계식 장치를 개발하였다. 제안한 장치는 온도차와 낙뢰에 취약한 전자부품을 전혀 사용하지 않아서 기존방식에서 발생한 문제를 해결한다. 제안한 장치의 구조 및 동작원리의 분석을 통하여 제안한 장치의 타당성을 입증한다.

2. 밀착검지기 현황

분기기(分岐器, Turnout)란 궤도상에서 열차 또는 차량을 한 궤도에서 다른 궤도로 전이시키기 위하여 궤도에 설치한 장치로써 포인트부(轉轍機, Point 또는 switch), 리드(Lead), 크로스부(鐵叉, crossing 또는 frog)로 구성되며, 이중 포인트부는 선로전환기라고도 하며, 직접 차량의 진로를 결정하는 부분으로 분기장치의 핵심이라고 할 수 있는 동시에 최대 취약부이기도 하다. 분기기에서 고정되어 있는 레일을 기본레일이라 하고, 선로전환기 동작에 의해 좌우로 가동되는 레일을 텅(Tongue)레일이라 하며, 기본레일과 텅레일의 밀착간격의 적부를 검지하는 것이 밀착검지기이다[1].

2.1 기계식 밀착검지기

그림 1은 십 수년 전 일본 고속선 방식에서 사용되던 것으로서, 국내에 수입하여 사용하였던 제품이었으나 지금은 거의 사용하지 않고 있다. 현재 기종변경 직전에 있는 성북역 35호에 사용 중에 있으나 장기적으로는 교체 예정이다. 이 제품의 특징은 텅레일의 미는 힘에 의해 검지부를 작동시켜 어느 일정 힘이 가해지면 스프링 탄성에 의해 접점이 구성된다. 견고하고 내구성이 있는 제품이었으나 검지 표시회

로의 육안점검이 현장이 아닌 계전기실에서 확인해야만 하고 검지부 간격이 정밀하지 못하다는 단점이 있다.

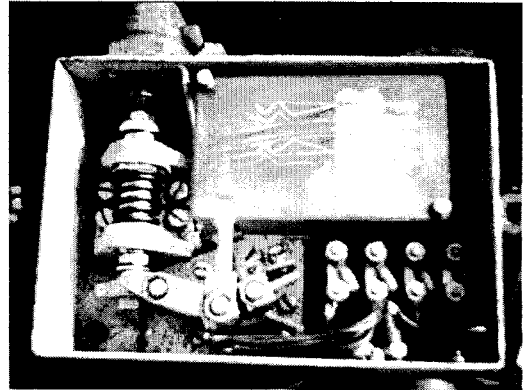


그림 1. 성북역 기계식 밀착검지기
Fig. 1. Mechanical sensing device

2.2 기계식 밀착검지기 Paulve(뿔베)

그림 2는 국내 고속철도 설계당시 선정되었던 제품이며, KTX 도입시부터 설치된 프랑스에서 제작한 Paulve 제품이다. 국철구간 내 설치수량은 총 862대가 설치되어 대다수 고속선에 사용되며 경부선에 152대가 사용되고 있다.



그림 2. 기계식 밀착검지기(Paulve)
Fig. 2. Mechanical sensing device(Paulve)

열도 선로전환기 기계식 밀착검지기 개발

Paulve 검지기는 전기신호로 Switch Point와 Swing Nose Crossing Point의 ON/OFF 또는 Moving을 감지하여 Rail의 밀착 및 전환을 제어하는 장치로서 4개의 접점(ON 2EA, OFF 2EA)을 가지고 있다. 선로전환기 텅레일의 왕복운동을 회전운동으로 변환시켜 접점구성을 하는 방식인데 전환 중 Finger가 휘어지는 경우가 발생하여 밀착검지 불량 이 나타나기도 한다. 이런 장애가 발생하는 문제를 보완하기 위해 일부 중요 개소에는 근접식 밀착검지기와 병렬로 사용하고 있다[2].

2.3 근접식 밀착검지기

그림 3은 근접식 밀착검지기로 그림 3 (a)의 검지부, 그림 3 (b)의 제어부와 기판내부에 표시부로 구성되는데 LC로 조합된 기기로 근거리 금속 체 접근시 전자유도 현상에 의해 4[mm]이내까지 밀착불량의 검지기능을 가지고 있다. 낙뢰에 의한 과전압 발생시에는 제어부 및 센서부가 동시다발적으로 소손되어 열차진로조건을 구성하는데 장애가 발생되고 열차운행에 차질이 발생하고 있다. 근접식 밀착검지기는 레일과 보호CAP의 장착시 그림 3 (b)와 같이 센서부의 전기적 절연간격은 약 1[mm] 정도로서 유도된 과전압에 의해서 센서와 제어부의 소손이 발생하면서 유지보수와 열차지연이라는 이중고를 안고 있다. 현재 근접식 밀착검지기가 대중화되어 있고 국내에서 가장 많이 사용하는 검지방식이며 일반선 고속선 모두 이 근접방식을 채택하고 있다[1, 3-4].

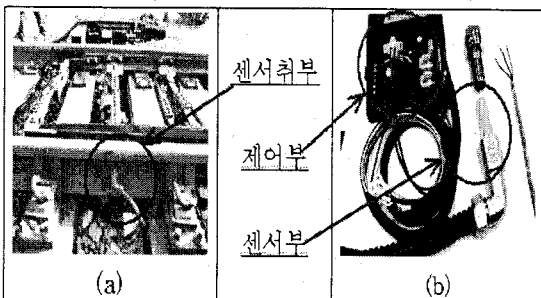


그림 3. 근접식 밀착검지기
Fig. 3. Rail position sensor

국철구간 내 전체적으로는 총 7,138대(2005년 기준)의 근접식 밀착검지기가 고속선을 포함한 전 구간에 걸쳐 설치 운용 중에 있으며, 수도권북부지사 성북신호제어 사업소에는 109대가 설치되어 있다.

그림 4는 국철에서 사용중인 근접식 밀착검지기의 센서와 제어부가 설치된 전체적인 그림을 나타내고 있다. LC로 조합된 고주파 자계 내에 금속체가 접근하면 전자유도현상에 의하여 금속체에 와전류가 흐르며 이 와전류(I)와 저항 (R)에 의해 I^2R 의 손실이 발생하며, 이에 따라 검출부 발전코일의 발전에너지가 변화된다. 이 발전에너지 변화량을 검출하여 출력신호를 발생하게 된다[3-6].

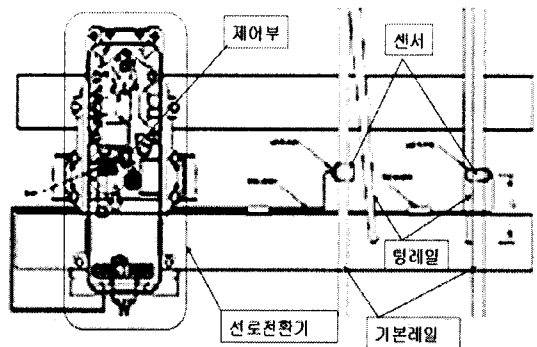


그림 4. 근접식 밀착검지기 설치도
Fig. 4. Rail position arrangement

3. 선로전환기 장치 장애통계 분석

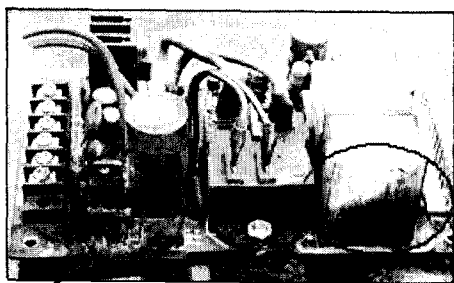
국철구간 내 최근 10년간 열차운행에 지장을 준 신호제어설비 장애상황을 살펴보면 선로전환기와 궤도회로 장애가 전체의 약 50[%] 가까이 차지하고 있다. 최근 통계자료 2005년을 분석하면 전체 57건 중에서 선로전환기가 14건(25[%]), 궤도회로 13건(23[%]), 기타장애 15건(26[%])이 발생하였다. 여기에서 궤도회로 장애는 열차 진행신호현시로서 정시 운행과 관련이 있고 수신호 혹은 관제실의 교신만으로 운행이 가능하나, 선로전환기 장애는 열차탈선과 밀접한 관련이 있는 장치로서 반드시 원상복구 및 정상신호의 출력이 나타나지 않으면 열차를 소통시킬 수 없는 중요한 장치로서 장애감소는 열차의 안전과 정시간 운행에 밀접한 관계가 있다.

표 1과 같이 국철구간 장애건수별로 살펴보면 중요한 장치임에도 장애가 다수 발생한다는 것을 볼 수 있으며, 향후 중점적인 관리가 이루어져야 함을 알 수 있다[7].

선로전환기 장치의 세부분석은 기기불량, 접속 불량 및 회선불량 장애가 있고, 그림 5와 같이 낙뢰에 의한 장애와, 그리고 폭설에 의한 텅레일 결빙에 의한 장애가 있다. 장애 예방으로는 순회점검 강화로 사전조치가 가능하거나 혹은 비상복구체제 확립으로 관계부처와 합동작업으로 신속한 사전조치가 있지만 근본대책이라고 할 수는 없다. 선로전환기 장치 중에서도 레일 밀착을 감지하는 기기를 외적 및 내적요인을 면밀히 분석하여 안전장치의 일부 보완 또는 전면교체를 통해서라도 열차운행에 차질을 초래하는 일을 최소화 할 필요가 있다.

표 1. 신호제어설비 장애 (2006년)
Table 1. Signaling device fault

구분	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	최근5년간 (01-05)
계	43	28	11	32	31	5	57	54	43	57	43.2
선호기	1	3	-	6	1	6	-	3	3	2	2.8
선로전환기	13	4	5	8	5	25	14	7	16	14	13.2
레도회로	7	4	2	9	5	18	10	11	5	13	11.4
전원장치	4	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1.6
연동장치	12	13	1	4	11	12	14	9	-	12	9.4
기타	6	3	5	4	7	12	17	13	17	15	14.8



a. 직류전압변환기 b. 계전기 코일

그림 5. 낙뢰 발생으로 손상된 근접식 제어부
Fig. 5. A broken controller by lightning

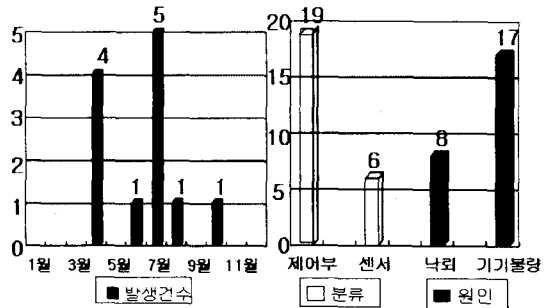


그림 6. 근접식 밀착검지기 장애사례(2005년-성북)
Fig. 6. Rail position sensor malfunction

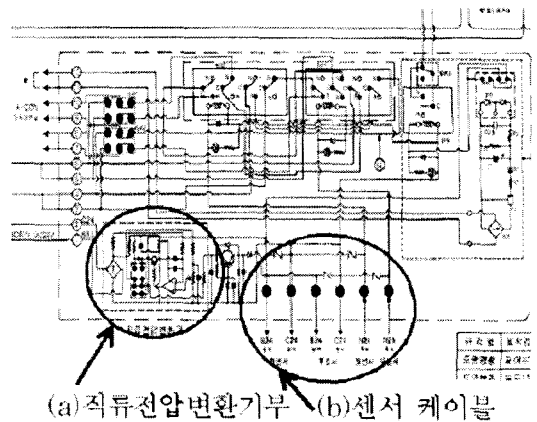


그림 7. 과전압 침투경로
Fig. 7. Permeate of overvoltage by lightning

2005년도 성북 구내에서 발생한 선로전환기 장치 중 밀착검지기 장애발생건수는 그림 6과 같이 센서와 제어부를 포함한 설치수량 109개 중 25건(23%)이 발생하였고, 그중에 센서는 19건(17%), 제어부는 6건(5%)의 장애가 발생하였다. 낙뢰에 의한 과전압에 의한 것이 8건(32%), 기기불량이 17건(68%)으로 나타났다. 그리고 전자부품장치가 노상에 항상 노출되어 있어 외부 온도변화 및 고온과 저온의 영향을 직접 받음으로써 여름의 복사열과 한겨울의 저온의 레일온도는 전자부품에 영향을 미칠 수밖에 없다. 장기간의 온도차에 의한 신뢰도 저하의 상태에서 약간의 과전압 발생시 바로 장애로 이어질 수 있다. 특히 낙뢰에 의해서 그림 5(a)와 같이 직류전압변환기부의 탄화현상과 그림 5(b) 출력부 계전기코일의 손상이 2005년도에만 2회 발생하였다. 그

철도 선로전환기 기계식 밀착검지기 개발

림 7 (a)는 직류전압 변환기부의 회로도로서 그림 7 (b)의 레일과 접촉된 센서케이블로 과전압이 제어부에 유도되어 전압상승으로 전자부품이 소손된 경우가 있다[7].

4. 기계식 밀착검지기 개발

4.1 신호 취급으로 본 선로전환기 동작 과정

전기연동장치치는 정거장 구내에서 안전하고 원활한 열차운전을 위하여 신호기, 선로 전환기, 궤도회로 등의 제어를 일정순서에 따라 전기적인 방법으로 상호 쇄정하는 장치이다. 열차 또는 차량의 안전과 능률적인 제어를 통하여 궤도회로를 이용하여 레일 위에 열차가 있는지를 검지하고 선로전환기를 전환하여 열차의 진로를 결정하고 폐색장치를 통하여 열차간격을 안전하게 유지하며 신호기 장치를 통해 기관사에게 진행여부를 지시하여 열차의 운행을 안전하게 유지하는 설비이다. 신호 취급 버튼의 동작으로 기계실의 계전기가 일련의 과정을 거쳐 전철제어(WR, 선로전환기전환명령)계전기가 정/반위 입력신호로 선로전환기가 동작을 하며, 동작된 선로전환기가 동작 완료로서 전철표시(KR, 선로전환기 위치표시)계전기가 동작하여 기계실로 출력신호를 보냄으로서 선로전환기에 의한 현장제어 동작은 완료하게 된다[6].

4.2 기계식 밀착검지기 개발

직격뢰 및 유도뢰로부터 밀착검지기 부품 소손으로 인한 선로전환기 전환 불능 방지와, 노상에 설치되는 기기로, 외부환경요인에 취약한 전자부품 사용의 최소화를 기본으로 하여 접촉부를 줄이고 밀착검지기, 센서부를 하나로 통합하여 보호범위를 안정화하기 위한 개발을 목표로 한다. 밀착검지기 장애로 인한 열차지연 사고를 최소화하고 시스템 점검 및 보수화 방안을 단순화한다.

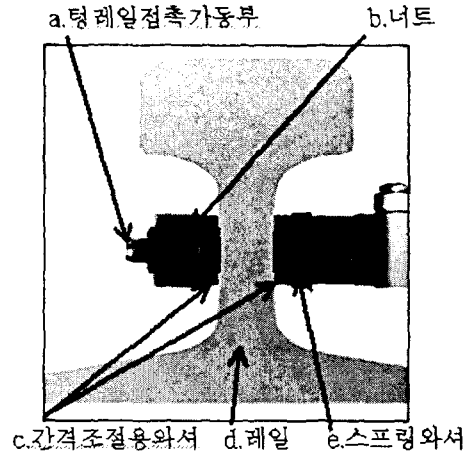


그림 8. 개발한 기계식 밀착검지기 레일 취부부
Fig. 8. Developed mechanical rail position sensor

그림 8은 개발한 기계식 밀착검지기 레일 취부도를 나타내고 있다. 텅레일이 가동하면서 그림 8 (a)를 밀어서 접점을 도통시키며, 그림 8 (b)의 너트로 장치를 고정한다. 그림 8 (c)는 평와셔로서 검지간격을 2[mm] 이내로 조정하게 되며 그림 8 (e)의 스프링와셔로 풀림방지를 한다. 이 장치를 개발하면서 선로전환기 밀착불량으로 인한 열차탈선사고율을 줄이고 밀착검지 불량률 2[mm]이상 이격 시 밀착불량을 검지한다. 열악한 외부환경에 노출되어 직접적인 영향을 받음으로 여름의 고온과 겨울의 결빙으로 인한 오동작을 없애는데 역점을 두고 개발하게 되었다.

그림 9는 개발한 기계식 밀착검지기의 단면도를 나타내고 있다. 그림 9와 같이 방수 처리를 하고, 설사 방수가 안 되어 내부 수분침투로 인한 동결시에도 오동작이 없도록 복원 스프링강도를 15[Kg] 이상으로 한다. 재질은 녹 발생 및 변형이 거의 없어 장기적으로 사용이 가능한 SUS304로 하여 부식 및 복원 불량률을 해소하였다.

밀착 검지되는 접점은 그림 9 (a)의 접점회로와 같이 병렬 2중 접점을 사용하여 접촉불량을 해소하며, 가동부와 전기부를 절연체로 분리하여 과전압 발생에도 영향이 없도록 하였다. 그림 9의 동작은 고정된 기본레일에 너트와 평와셔 스프링와셔의 조합으로 취부 고정이 되며 텅레일의 왕복운동으로 접촉과 분

리가 반복동작하게 된다. SUS 스프링의 압축으로 전기부의 접점 축을 압축시킨다. 밀착을 검지하기 위한 중요한 접점은 2중 병렬구조로 하였고, 밀착/개방 검지는 하나의 접점을 이용하여 왕복동작으로 검지하는 동작을 하게 된다.

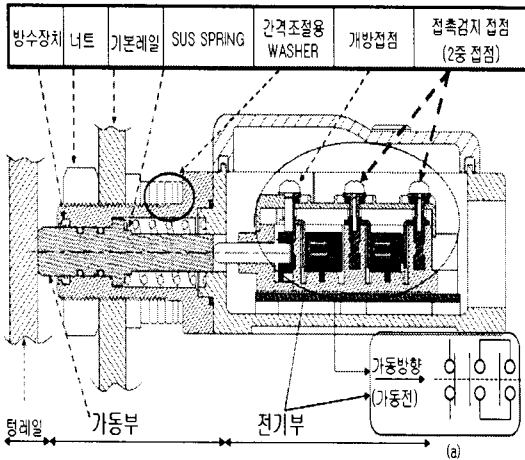


그림 9. 개발한 기계식 밀착검지기 단면도
Fig. 9. A cross section of the developed mechanical device

표 2. 전기부 시험 성적서
Table 2. Test result of electric part

구 분	내 용
접점재질	Ag
동작부하	100[Vdc]/50[mA]
접촉저항	30[MΩ] 이하(초기치)
절연저항	100[MΩ]이상 (DC500[V] 절연저항계)
전기적 수명	30만회 이상(20회/분)
기계적 수명	30만회 이상(30회/분)
내진동	10~50[Hz] 복진폭 1.5[mm] X, Y, Z 각방향 1분간
온도	-25~55[°C](결빙 없는 상태)
습도	45~85[%][RH](결빙 없는 상태)
충전부내전압	1000[VAC](50/60) 1분간
중량	약 84[g]

표 2는 그림 9의 전기부의 정격 및 시험성적서를 나타낸다. 성북역에서 가장 많은 동작을 하는 21호 선로전환기에 적용하면 일일동작 약 40회이며(40회/일×365일) 연간 14,600회의 동작으로 수명이 30만회임을 감안하면 최소 10년 이상은 사용이 가능하다.

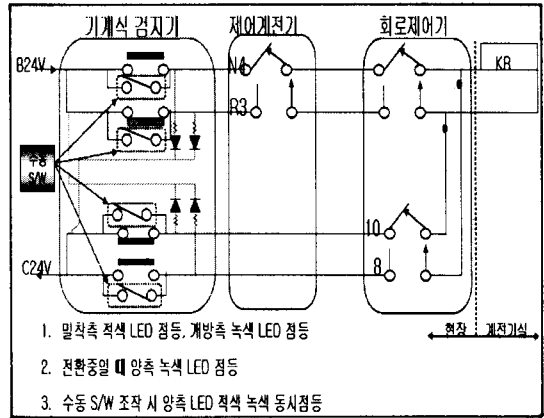


그림 10. 개발된 기계식 밀착검지기 회로도
Fig. 10. Circuit diagram of developed mechanical sensor

그림 10은 개발된 기계식 밀착검지기 회로도를 나타내고 있다. 현장과 계전기실의 상태를 나타내며 회로제어기는 선로전환기 내부의 쇄전자 기계축에 의한 동작으로 이뤄지고 제어계전기는 WR(전철제어계전기)와 병렬로 동작되며 자기유지 유극계전기로서 직류전압 영역의 반복동작이 이뤄진다. 제어밀착/개방의 반복동작은 B24(+)와 C24(-)가 교번으로 동작되며, 제어계전기와 회로제어기 접점을 거쳐 최종적으로 유극 3위식 자기유지 계전기(KR)가 동작되며 이로써 현장측의 동작은 완료한다. KR(표시계전기) 접점으로 열차진로에 관계되는 신호현시의 동작이 이루어진다. 사용중 기계식 밀착계전기가 동작 불능 발생 시에는 그림 10과 같이 수동 S/W 작동으로 응급처치가 가능하도록 하였다. 낙뢰 발생으로 기기손상이 발생할 수 있는 것은 표시되는 LED 표시부분이 전부이고 이 부품이 소손되어도 밀착검지 불량과는 별개이며 기계식 밀착검지기 기기불량시에도 불량기기 내부 수동 S/W의 간단한 조작으로 응급복구가 가능하게 만들었다.



a. 표시부, b. 레일취부, 가동부, c. 전기부

그림 11. 개발된 기계식 밀착검지기 시제품
Fig. 11. A prototype of developed mechanical sensor

검지기는 표시상태 확인을 위한 LED 사용전원만 일부 사용한다. 그림 12와 같이 표시되는 부분도 밀착시는 적색, 개방은 녹색 LED로 표시되게 했으며, 비상복구위한 수동 취급조작을 하였을 때에는 적색, 녹색 LED 모두 점등되게 하였다. 그림 11은 기계식 밀착검지기 실험용 제작품으로서 11 (a)는 적색, 녹색 표시부이고 11 (b)는 레일에 취부되는 기계 가동부로서 스프링와셔와 평와셔로 구성되고 11 (c)는 전기부로서 11 (b)에 의한 동작이 11 (c)로 전달되어 접점이 구성된다.

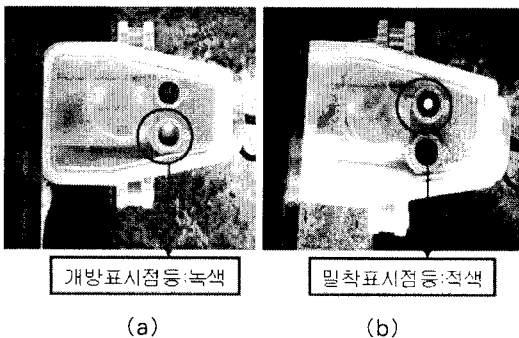


그림 12. 검지기 연동시험 및 표시 과정
Fig. 12. Detector interlocking and indicate

그림 12는 레일에 설치하여 선로전환기 왕복운동으로 연동시험을 한 결과이다. 개방이 될 때에는 12

(a)의 녹색등이 점등하며, 밀착시에는 12 (b)의 적색등이 점등되어 원활히 동작하는 모습을 나타내고 있다.

4.3 근접식/기계식 검지기 유지보수비 비교

근접식은 유지보수비용이 개당 제어부 36만원 센서부 28만원인데 평균가 32만원으로 하고 기계식은 내부 접점부 가격의 부품비용이 4만원(2006년기준)이다. 표 3에서와 같이 2005년 장애발생을 근거로 근접식 대신 개발한 기계식으로 대체했을 경우의 효과는 전체수량 중 10[%] 교체 시 한국철도공사 평균 시간당 임금 48,327원/인(2인1조)을 적용하고, 교체시간을 1시간으로 적용하면 근접식은 약 2억 4천 7백여만원이 소요되고 기계식은 약 9천 7백여만원의 비용이 발생하여 유지보수비용절감액은 연간 약 2억 원이 됨을 알 수 있다.

표 3. 근접식과 기계식 검지기 유지보수비 비교
Table 3. Comparison between conventional method and proposed method

(단위: 원)

	설치수량 (EA)	교체율 ([%])	교체비 (제품)	인건비 (2인)	유지 보수비
근접식	7,138	10	320,000	96,654	297,074,300
기계식	7,138	10	40,000	96,654	97,434,300
유지보수비 절감 예상액					199,640,000

5. 결 론

본 연구에서는 낙뢰에 의한 과전압의 발생으로 신호의 오류와 열차지연을 방지하기 위하여 기계식 밀착검지기를 개발하였다. 전자부품의 사용은 표시되는 부분으로 저항과 LED 각 하나의 사용으로 제한하며, 그 부분은 기기동작과는 무관하도록 하였다. 또한 검지장에 발생시에도 선로전환기 내부 확인 작업이 필요 없이 레일에 취부 된 기계식 검지기 조작으로 응급처치가 신속하게 이루어질 수 있도록 하여 열차지연을 최대한 방지하는 효과를 가져 올 수 있다. 그리고 가장 중요한 부분인 기본레일과 텅레일

서 2[mm] 이내로 검지할 수 있는 검지폭을 줄여 열차탈선 예방에 큰 효과를 기대할 수 있게 되었으며, 검지기 교체 또한 아주 저렴한 가격과 신속한 보수가 이루어질 수 있게 하였다.

내부 장치기기의 열화발생 우려 또한 내부 탄성부분을 stainless(SUS304) 재질로 제작하여 이로 인한 장애발생이 나타나지 않고 장기간 사용이 가능하여 유지보수 비용이 현저히 줄어들 수 있을 것이라 예상된다.

향후과제는 수년간 설치 사용하여 낙뢰 및 부품손의 발생유무를 확인 검증이며, 개발된 기계식 밀착검지기를 국내뿐만 아니라 세계 각국의 철도회사에서 이 제품이 사용되도록 하는 것이다.

References

- [1] "Railroad Plan Handbook 1.11", Korea Rail Network Authority, 2004.
- [2] "Paulve Point Dectector Manual", SampyoENC. co. 2002.

- [3] "Rail Position Sensor (Approach Sensing Type), Sewha.co, 2003.
- [4] Young-Tae Kim. "Signalling Control System", Tech Media, 2004.
- [5] Kwang-Soo Song. "Railway Signalling Subject Study", Tech Media, 2005.
- [6] "Signalling Equipment Repair Manual", Railway, 2004.
- [7] "Signalling Operation Data, 2006", Korea Railroad, No22, 2006.

◇ 저자소개 ◇

유재현 (柳在賢)

1968년 3월 30일생. 2001년 교육개발원 전기공학과 졸업. 2007년 서울산업대학원 전기공학과 석사과정. 2005년 ~ 현재 한국철도공사 수도권 북부지사 전기팀.

신명호 (申明昊)

1967년 11월 27일생. 1989년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991~1996년 삼성종합기술원 근무(선임연구원). 2002년 8월 ~ 현재 서울산업대학교 전기공학과 조교수.