

선로전환기의 전환전류를 이용한 노화 특성 분석

Analysis of Aging Characteristic using the Switching Current of Electrical Point Machine

김 용 규[†] · 이 종 현* · 김 주 엽** · 오 세 찬** · 송 용 수** · 백 종 현** · 윤 용 기**
(Yong-Kyu Kim · Jong-Hyun Lee · Ju-Yeop Kim · Seh-Chan Oh · Yong-Soo Song ·
Jong-Hyun Baek · Yong-Ki Yoon)

Abstract - A point machine requires lots of time and attention in terms of maintenance, since it causes 40% of failures among the railway signaling devices. The senescence of the point machine critically matters to the overall turnout system. In this paper, we analyzed the aging characteristics of the point machine by using the switching current of the point machine. The analysis is done based on the switching current measurements of the point machines deployed in the Sehwa outdoor test site and the Korail Kyongbu line. It is expected that the analysis result can be utilized for real-time diagnosis in the aspect of the maintenance of the point machines and predicting abnormal operations.

Key Words : Electrical railway, Point machine, Turnout, Train control system

1. 서 론

철도신호설비의 장애 및 사고현황 분석에 의하면 선로전환기의 장애 비율은 전체 신호 설비 장애의 40%로, 이는 운영 및 유지보수 측면에서 가장 많은 시간과 주의를 필요로 하는 신호 설비비를 의미한다[1]. 분기기의 경우에는 장애 발생시 탈선과 연결되어 대형 사고로까지 확대될 수 있는 위험을 내포하고 있으며, 이러한 분기기의 전환에 사용되는 선로전환기는 장애 발생시 기본레일과 텅레일간의 밀착 불량치 또는 기기 동작 불량에 의한 접점 구성 불량 등으로 인해 열차 지연 장애의 주요 원인으로 작용한다. 이는 인명 또는 물적 피해보다는 열차 운영 전반에 영향을 인가함으로써 철도 교통에 대한 신뢰도 측면에서 중요한 역할을 한다. 선로전환기 장애의 주요 원인은 열차 운영 노선의 외적, 환경적 요인보다는 선로전환기를 구성하는 설비의 전기적, 기계적 미세한 결함으로 주어지며, 이러한 미세한 결함은 결국 선로전환기 뿐만 아니라 분기기 시스템 전반에 대해 영향을 인가하는 것으로 조사되었다[2]. 따라서 분기기에 단순히 전환력을 공급하는 선로전환기의 장애는 작게는 분기기 시스템의 성능 장애를 유발하지만, 크게는 열차 운행 전반에 지장을 초래할 수 있는 탈선사고까지 연계된다. 이러한 분기기 관련 사고 예방을 위해서는 우선적으로 선로전환기의 정상적인 기능을 항상 유지할 수 있도록 운영 및 유지보수가 실현되어야 한다. 기존의 선로전환기

운영 및 유지보수는 운영 노선의 특성에 부합하는 주기적인 점검을 통해 기능을 유지하였다. 그러나 열차 운행 속도와 열차 운행 빈도가 높은 고속선의 경우에는 분기기의 동작을 실시간 감시할 수 있는 감시장치 또는 진단장치를 통해 항상 안전한 상태에서 열차의 운영이 보장될 수 있도록 예방 차원의 유지보수를 필요로 한다[3]. 이를 위해서는 실시간으로 선로전환기의 상태를 검지할 수 있는 검지 장치, 관련 데이터를 전송하기 위한 전송장치, 그리고 전송된 데이터를 선로전환기의 기준 데이터와 비교 분석하여 이상 유무 및 비정상 동작을 확인할 수 있는 프로그램을 구성해야 한다[4].

본 논문에서는 선로전환기의 비정상 동작을 검지하기 위한 방안으로 선로전환기에 인가되는 전환 전류의 특성을 분석하였다[5]. 이를 위해 (주)세화의 야외 시험장에 설치된 선로전환기에 대해 전환 전류와 전환 시간을 90,000회까지 지속적으로 반복하여 측정하였다[6]. 측정 결과를 통해 선로전환기의 반복적인 전환에 의한 선로전환기의 전환 전류 최대 및 최소 전류값 한계치를 확인하였다. 이를 기반으로 한국철도공사의 영업선에 설치시기가 다른 다양한 선로전환기에 대해서도 동일한 측정을 실시하였다[6]. 측정은 2014년까지 2016년까지 실시되었다. 관련 측정값은 시험장의 측정값이 실제적인 철도공사 영업선 환경에 따라 변화되는 정도와 노후화된 선로전환기에서의 측정값의 특성을 통한 노화 특성 분석 가능성, 그리고 비정상 동작에 의한 진단 가능성 등을 확인하였다.

[†] Corresponding Author : Signaling & Communication research team, Korea Railroad Research Institute, Korea

E-mail: ygkim1@krrri.re.kr

* Railroad electric & signalling application Dept, Company Sehwa, Korea.

** Signaling & Communication research team, Korea Railroad Research Institute, Korea

Received : July 21, 2017; Accepted : November 20, 2017

2. 선로전환기 장애와 밀착력

2.1 신호설비의 장애 현황

2010년부터 2014년까지 일반 및 고속철도에 설치된 신호설비

전반에 대한 장애 현황은 표 1과 같다. 선로전환기 관련 장애는 전체 장애 대비 40% 총 49건이며, 이는 신호설비의 운영 및 유지보수에 있어서 선로전환기의 역할이 중요한 요소임을 의미한다 [1]. 다음으로 많은 장애는 궤도회로에 연관된 전체 장애 대비 28% 총 35건, 연동장치에 연관된 전체 장애 대비 23% 총 22건 순으로 제시되었다. 이들 세 개의 주요 장애가 전체 신호설비 관련 장애의 91%로, 대부분 열차 운행 선로 현장에 설비가 설치된다는 공통된 특성을 갖는다. 표 1에서 MJ81형은 고속에서의 열차 운행에 따른 과진동 영향에도 불구하고 장애 발생은 NS형에 비해 현저하게 낮은 것으로 확인되었다. 이는 NS형 설비가 설치 이후, 장시간 사용함에 따라 노후화 현상이 발생함으로써 잦은 유지보수를 요구하는 것으로 조사되었다. 궤도회로의 경우에는 고속철도가 일반철도에 비해 장애 발생률이 더욱 높게 주어졌다. 이는 일반철도의 궤도회로가 단순히 열차 검지만을 실행하는데 비해, 고속철도의 궤도회로는 열차 운행 관련 자동열차제어(ATC : Automatic Train control) 정보를 지상에서 차량으로 전송함에 따라 선로에 설치되는 콘텐서, 매칭유닛, 동조 유닛 등과 같은 궤도회로 구성품이 증가함에 따른 문제점으로 해석된다. 이러한 장애 분석 결과, 철도용품의 신뢰성과 안전성은 선로변 환경의 상태와 밀접한 관계가 있음을 함축적으로 의미한다.

표 1 일반 및 고속선 신호설비 장애 [6]

Table 1 Failure of CL and HSL railway signal facility [6]

Year		2010	2011	2012	2013	2014	
Total		123	23	50	22	15	13
CV	Sum	82	15	31	13	11	12
	Turnout(NS)	37	6	15	6	6	4
	Track circuit	13	2	4	3	2	2
	Interlocking	18	4	7	3	1	3
	Power supply	7	-	3	1	2	1
	Block system	4	2	1	-	-	1
	Safety device	1	-	-	-	-	1
	CTC	1	-	1	-	-	-
	Cable	1	1	-	-	-	-
HSL	Sum	41	8	19	9	4	1
	Turnout(MJ81)	12	2	5	3	1	1
	Track circuit	22	3	11	6	2	-
	Interlocking	4	2	1	-	1	-
	Power supply	1	1	-	-	-	-
	Block system	1	-	1	-	-	-
	Safety device	1	-	1	-	-	-
	CTC	0	-	-	-	-	-

2.2 선로전환기 장애 현황

대부분의 선로전환기 장애는 주로 NS형에서 발생하였으며, 관련 원인은 다음과 같다.

- 선로전환기의 노후화에 따른 피로도 누적.
- 선로전환기 설치 이후 시간의 경과에 따른 선로전환기 전환 시의 비정상적인 전환력.
- 기본레일과 텅레일의 밀착 불일치 발생에 따라 과도한 전환 시도에 의한 과전압.
- 이상전압의 발생

표 1의 Turnout(NS)과 Turnout(MJ81)로 표기된 선로전환기 관련 장애에 대한 원인을 상세하게 분석한 결과는 표 2와 같다. 표 2에서 기기불량이 전체 장애 49건 대비 37건으로 확인됨에 따라 설비 교체를 위한 수명 예측 및 진단의 필요성이 시급함을 확인할 수 있다.

표 2 선로전환기에서의 장애 원인 분석

Table 2 Failure cause analysis in point machine

Year		2010	2011	2012	2013	2014
Total	49	8	20	9	7	5
Equipment failure	37	6	13	9	5	4
Poor repair	5	-	2	-	2	1
Poor installation	4	-	4	-	-	-
Insert foreign objet	0	1	1	-	-	-
Natural disasters	0	1	-	-	-	-

선로전환기 관련 대부분의 장애는 NS형과 MJ81형 모두 밀착 검지기에서 발생하는 것으로 확인되었다. 밀착검지기 센서부의 장애 원인은 과밀착으로 인한 케이스 손상(시공 불량), 구형 센서의 동작 불량(기기 불량), 케이블 절손(보수 불량), 설치후 시간의 흐름에 따른 진동 영향(피로 누적), 등이 다양하게 제시되었다. 밀착 검지기의 회로제어기의 경우에는 주로 열화 및 기능저하에 따른 점접불량 및 접속부식이 가장 많은 장애로 확인되었다. 제어계전기의 경우에도 회로제어기와 유사하게 열화 및 기능저하에 따른 점접불량이 장애의 주요 원인으로 분석되었다. 밀착검지기 제어부의 경우에는 과전압 및 이상전압에 의한 소손도 발생하였다. 그 외에 선로전환기 모터의 경우에는 장시간 사용 피로도 누적이 주요 장애 원인으로 주어졌으며, 간류의 경우에는 진동에 의한 피로도 누적 및 절연파괴가 유발되었다. 마찰 연속기의 경우에도 장시간 사용 피로도 누적으로 인한 장애가, 밀착쇄정기의 경우에도 피로도 누적이 주요 원인으로 확인된 절연불량, 점접마모 및 점접 탄성 저하가 발생한 것으로 조사되었다. 그림 1은 이러한 장애에 대한 사례를 제시한다. 따라서 선로전환기 관련 장애 원인의 분석을 위해서는 피로도 누적으로 인한 선로전환기의 수명 예측 및 진단이 반드시 검토되어야 할 중요한 요소로 작용한다. 여기서 피로도에 의한 밀착, 과전압, 이상전압의 발생 등은 선로전환기의 전환력과 밀접한 관계를 갖는 것으로 확인되었다. 본 논문은 이러한 검토 결과를 기반으로 선로전환기의 노후 특성을 분석하기 위해 선로전환기의 전환력을 중점적으로 검토하였다. 특히 전환력은 선로전환기의 전환 전류를 통해 분석이 가능함을 확인함으로써, 이를 통해 선로전환기의 노후화를 해석할



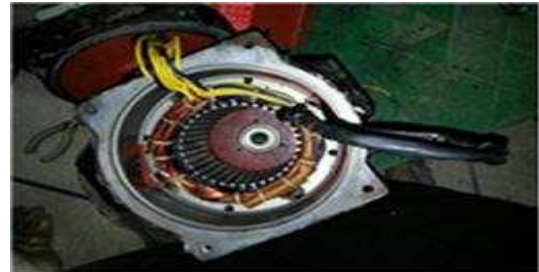
a) failure of control part



b) corrosion of connection



c) degradation of contact elasticity



d) accumulation of motor fatigue

그림 1 기기불량 및 기능 저하 예

Fig. 1 Examples of failure and degraded functionality

수 있을 것으로 예상된다.

2.3 선로전환기의 전환력

선로전환기에 대한 결함 검지는 일상검사와 정밀검사를 통해 실시한다. 일상검사는 운영 및 유지보수자가 순환 점검을 통해 육안으로 선로전환기의 설치상태, 밀착 상태, 쇄정상태를 주로 점검한다[7]. 정밀검사는 텅레일과 기본레일이 1mm 이하가 되는지를 확인하는 작업으로 정위방향과 반위방향에 대해 밀착 및 쇄정 상태를 확인한다. 이는 분기기의 기본레일과 텅레일간의 밀착 상태를 유지보수에서 제시된 기준 값을 만족하는지에 대한 측정을 통해 선로전환기의 이상유무를 점검한다. 이러한 점검은 선로전환기에 대한 가장 기본적인 상태 점검으로 장애를 유발할 수 있는 중요한 결함을 인지할 수 있지만, 분기기의 텅레일과 기본레일의 밀착 구성이 1mm 이하라는 점을 고려할 때, 그리고 선로변 환경에 의해 선로전환기의 전환력이 순간적으로 증가하거나 서서히 증가하는 경우에는 관련 점검 데이터는 예방 유지보수 측면에서 적용의 어려움이 있다[8]. 이러한 선로전환기 검사는 단순히 선로전환기의 외형상, 동작상의 문제점만을 취급함으로써 실제로 선로전환기의 설치 환경 및 동작 유형에 대한 정확한 결함 검지 및 예측이 실제로 불가능함에 따라, 선로전환기의 정확한 동작 및 진단을 위해서는 추가적으로 전환력을 측정해야 한다. 전환력의 크기는 분기기의 크기와 밀접한 관계를 가지며, 분기기의 크기는 곡선 반경이 증가할수록 텅레일 길이도 함께 증가하며, 레일의 반발력이 없다는 가정 하에 텅레일을 전환하는데 필요한 선로전환기의 전환력은 “전환력=(텅레일 하중)×(마찰 계수)”로 계산된다[9]. 이를 이용하여 텅레일과 상판과의 마찰을 금속과 금

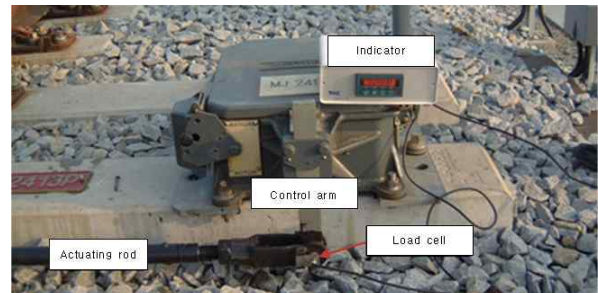


그림 2 전환력의 측정

Fig. 2 Measurement of switching power

표 3 분기기 유형에 따른 전환력

Table 3 Switching power by turnout type

Turnout number	Tongue rail length(m)	Weight (kg)	Switching power(kg)
F46	41.37	2888.8671	288.8
F26	33.57	2344.1931	234.4
F18.5	23.97	1673.8251	167.3
F12	11.88	829.5804	82.9
F10	10.58	738.8014	73.8
F8	9.58	668.9714	66.8

속간의 마찰계수인 0.1로 하고, 텅레일의 기준을 UIC60D 레일로 가정하여 전환력을 산출하면 각각의 분기기에 대한 전환력이 아래의 표 3과 같이 계산된다[10]. 이는 분기기의 번호가 증가 할

수록 전환력이 증가하며, 마찰 계수와의 상관관계에 따라 상판의 손상, 윤활 상태 등과 같은 현장 특성은 선로전환기의 영업선 운영 전환력에 매우 큰 영향을 인가한다[11]. 일반적으로 NS형은 전환력 측정이 규정화되어 있지 않지만, MJ81형은 전환력 측정이 의무화되어 있다. 이는 NS형이 주로 일반철도의 저변 분기기에 사용됨으로서 전환력이 작은 반면, MJ81형은 고속철도의 고변 분기기에 적용됨으로서 전환력이 중요한 역할을 하는데서 기인되었다. 전환력의 측정은 센서를 이용하여 선로전환기의 유형에 관계없이 쉽게 측정할 수 있으며[12], 그림 2는 고속철도의 MJ81형에 대한 전환력 측정 사례를 나타낸다.

3 전환 전류를 이용한 노화 분석

3.1 전환전류 특성

운영 및 유지보수 환경과 노후화에 따라 초기 선로전환기 설치시 주어진 전환 전류값은 감소 또는 증가하게 된다. 전환 전류값이 감소하는 경우는 선로전환기의 영업선 현장 설치부터 안정화 기간까지이며, 이러한 기간 동안에는 분기기의 동작이 노반 상태에 최적화된 상태를 유지함으로써 전환 전류값이 감소한다. 그러나 시간의 경과에 따라 전환 전류값은 지속적으로 증가하며, 관련 증가폭의 크기는 노반과의 인터페이스 상태에 따라 변화하며, 선로전환기의 비정상적 노화 및 수명주기 단축을 유발한다. 전환 전류를 이용한 기존의 선로전환기 분석은 단순히 영업선 선로변 현장을 고려한 장애 상황을 시뮬레이션함으로써 현장에서 발생 가능한 환경 변화 관련 장애에 대응할 수 없는 단점을 갖는 것으로 제시되었다[13]. 이를 개선한 새로운 방법으로 선로전환기에서 실제 측정된 전환 전류값을 수집하여 uniform scaling을 이용한 선로전환기 고장 진단을 실시하였지만[14], 전환 전류값이 비선형적으로 주어지는 경우에는 정상 상태와 비정상 상태를 분류하지 못하는 것으로 확인되었다.

선로전환기의 전환 전류는 일반적으로 그림 3과 같이 전환이 시작되는 구간에서는 선로전환기를 전환하기 위한 초기 기동 동작으로 인해 전환 전류가 급격하게 증가한 후, 다시 급격하게 감소한다. 이후 선로전환기의 전환이 진행중인 경우에는 선로전환

기의 정상적인 이동으로 인해 전환 전류가 일정한 값을 갖게 되며, 전환이 완료되면 급격하게 전환 전류가 다시 감소한다. 이러한 동작 이후에는 쇄정을 통해 선로전환기의 전환 동작이 완료된다. 따라서 선로전환기를 공장에서 제작하여 성능 시험을 실시할 때의 전환 전류 측정값을 그림 3의 측정값(Measured value)으로 가정한다면, 전환 전류의 변화는 선로전환기 설치부터 최적화 기간 동안에 측정되는 하한 전류값(Lower threshold)과 운영 시간의 경과에 따라 증가되는 상한 전류값(Upper threshold)을 갖게 된다. 이를 이용하여 선로전환기 전환 전류 변화에 대한 상한 전류값과 하한 전류값의 표준 한계값을 구성한다. 여기서 t_A , t_B , t_C 는 최대 전류값 시간, 밀착 완료 시간, 전환 종료 시간으로 정의한다.

3.2 전환전류 측정

전환 전류의 측정 및 데이터 구축을 위해 본 논문에서는 (주)세화의 야외 시험장과 한국철도공사의 경부선 영업선에 설치된 선로전환기의 전환전류를 측정하였다[6]. 야외 시험장에 설치된 선로전환기에 대해서는 90,000회 전환 시험을 실시하였다. 그림 4는 관련 전환 전류 측정후, 전환 전류 변화 범위를 분석하여 상한 전류값, 하한 전류값, t_A , t_B , t_C 의 기준값을 제시하였다. 또한 90,000회 시험을 통해 전환 횟수 증가에 따른 선로전환기의 데이터 변화 분석 기반으로도 관련 데이터를 사용하였다. 한국철도공사 경부선 영업선에 설치된 선로전환기에 대한 전환전류 측정은 2014년 ~ 2016년의 기간 동안에 주기적으로 측정하였다[6]. 이는 영업선 운영 환경에 따른 계절 및 온도 변화 등 선로변 환경이 반영된 데이터를 확보하기 위한 방안으로 실시되었다. 영업선에 설치된 선로전환기는 설치시기가 1992년~2014년으로 다양하게 주어짐으로서 노후화의 진행 상황을 함께 분석할 수 있는 데이터를 확보할 수 있었다. 특히 2014년 이전에 설치된 선로전환기의 경우에는 초기의 설치 데이터 확보가 불가능함에 따라 (주)세화의 야외 시험장에서 측정한 데이터를 기준으로 분석하였다.

그림 4는 (주)세화의 야외 시험장에서 매일 3,000회, 매주 20,000회, 월 80,000회의 전환을 통해 총 90,000회 전환 시의 전환 전류를 측정된 결과로, 전환 전류 기준값은 적색 실선(—)으로 주어진다. 선로전환기의 전환 시간은 초기의 구동부터 밀착이 완료될 때까지의 전체 시간(Zone 1 + Zone 2 + Zone 3)으로 표시하였다. 여기서 선로전환기에 대한 철도표준 규격이 단순히 전환시간 6초와 동작전류 8.5A만을 언급함에 따라[15, 16], 본 논문에서는 이러한 단순한 기준을 좀 더 구체화하기 위하여 선로전환기의 전환력을 초기 전환시작점, 안정적인 전환점, 전환 종료점으로 구분하여 이를 각각 Zone 1, Zone 2, Zone 3로 정의하였다. 이는 선로전환기의 밀착 및 쇄정 동작에 따른 전환력의 변화와 관련 전환전류에 대한 연구를 통해, 밀착 동작은 쇄정상태에서 회전 운동에 의한 전환이 시작되는 초기전환 시작점, 전환이 시작됨으로서 단순히 분기기를 밀어주는 직선운동점인 안정적인 전환 지속점, 그리고 전환이 종료되고 쇄정이 완료되는 전환종료점을 의미한다. 관련 기준은 단지 시간에 의존하며, 선로전환기의 사용 빈도, 전환시의 이상 여부에 따라 전환전류값도 함께 변화된다

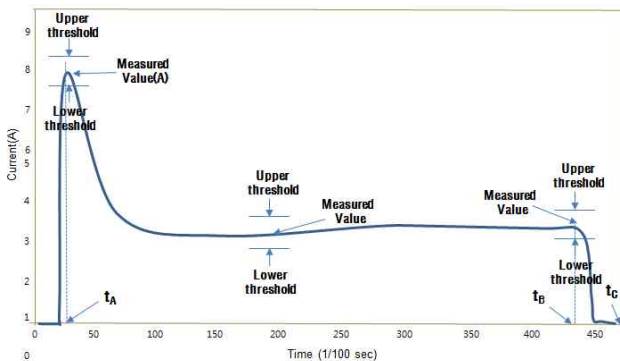


그림 3 선로전환기의 전환 전류
Fig. 3 Switching current of point machine

[2]. 참고로 부하가 없는 선로전환기의 특성은 그림 4와 같이 주어지며, 이는 전기선로전환기의 설계시에 고려된 특성으로, 관련 값은 제작사마다 조금씩은 다르지만, 대부분 근사하게 일치하는 것으로 확인되었다. 그림 4에서 Zone 1은 0~0.9초로 주어지며 선로전환기를 전환하기 위한 초기 기동 동작으로 인해 과전류가 선로전환기에 인가된 후, 전환의 진행에 의해 급격하게 전환 전류가 감소하여 안정화 단계에 진입하는 구간을 나타낸다. Zone 2는 0.9초~4.4초로 정상적인 전환이 진행중인 구간으로 선로전환

기의 전환 전류값은 일정한 상태를 유지하며, 선로전환기의 전환이 완료된 후 밀착 동작을 실행하기 이전까지의 동작을 포함한다. Zone 3은 4.4초~5.0초 구간으로 선로전환기의 전환이 완료되는 구간으로 전환 전류는 급격하게 감소한 후, 쇄정을 통해 선로전환기의 전환 동작이 모두 완료된다.

현장에서의 전기선로전환기 관련 장애 및 비정상 동작 등의 문제점이 발생하는 경우에는 대부분 1차적으로 육안 검사를 실시하고, 관련 문제점은 주로 전환력, 전환시간, 전환전류를 이용하여 분석 검토한다. 이러한 경우, 문제되는 선로전환기의 대부분은 전환시간과 전환전류가 불규칙하고, 이와함께 비정상적인 전환력이 크게 증가한다. 전환력의 증가는 전환전류와 전환시간 증가에 비례하며, 이는 선로전환기 장애 및 비정상 동작의 원인 유추에 유용하게 사용된다[12]. 따라서 이러한 현장 경험을 기반으로 영업선에서 임의로 선정한 선로전환기의 전환전류와 전환시간의 측정값은 그림 5~그림 9로 주어진다. 관련 측정값에 대한 분석 기준은 그림 4의 90,000회 시험 결과를 적용하였다. 그림 5(type 1)에서 a)는 AA역에 1992년 A사에서 제작 및 설치, b)는 1998년 B사에서 제작 및 설치한 선로전환기에 대해 주기적으로 전환 전류값을 73회 측정된 결과이다. type 1의 Zone 1에서 최대 전류값은 testbad 기준값(8.8A)에 비해 a)와 b) 각각 13A, 12.5A까지 증가하였으며, t_A 의 값은 testbad 기준값(2.4초)과 유사하게 주어지는데 비해, Zone 2의 t_B 최대값은 testbad의 기준값(4.5초)에 비해 각각 3.7초, 3.8초까지 관련 시간이 단축되었다. 또한 Zone

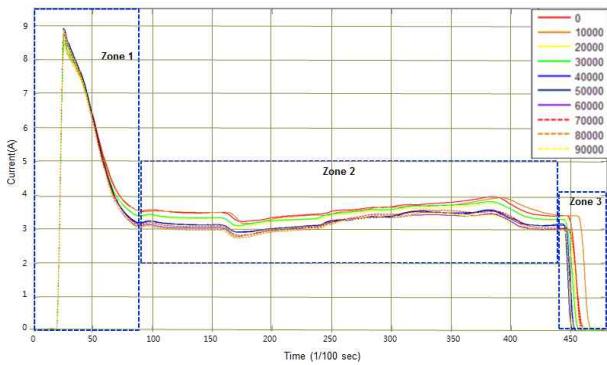
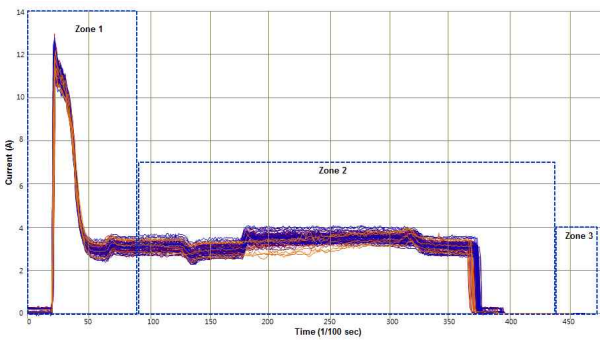
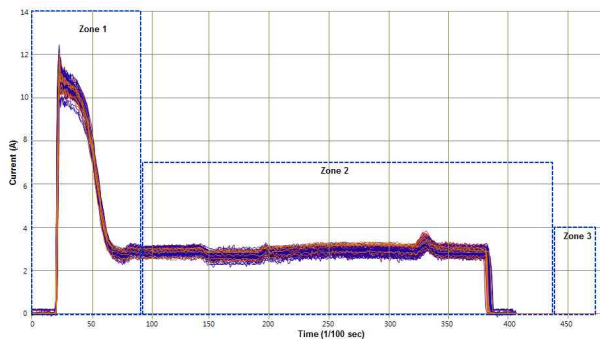


그림 4 선로전환기의 전환 전류
Fig. 4 Switching current of point machine

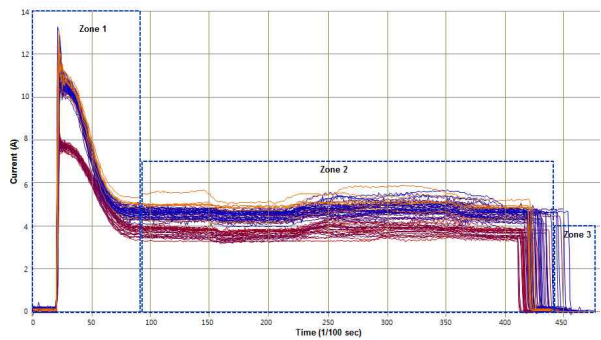


(a)

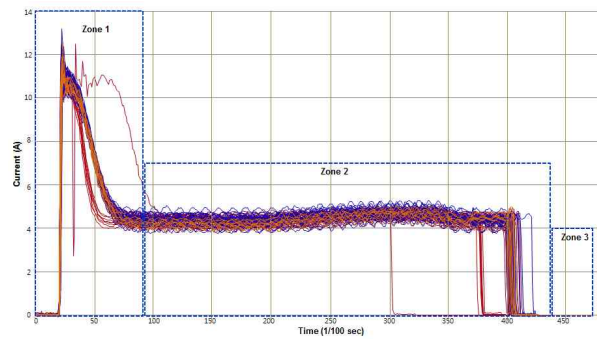


(b)

그림 5 전환 전류 측정 : 사례 1
Fig. 5 Switching current measurement : type 1



(a)



(b)

그림 6 전환 전류 측정 : 사례 2
Fig. 6 Switching current measurement : type 2

3의 t_c 최대값도 testbad 기준값(5초)에 비해 각각 3.9초, 4초까지 관련 시간이 단축되었다.

그림 6(type 2)은 AA역에 2014년 C사에서 제작, 설치한 선로 전환기에 대해 주기적으로 전환 전류값을 47회 측정된 결과이다. type 2는 2014년에 설치되었음에도 불구하고 zone 1의 최대 전류값은 testbad 기준값(8.8A)에 비해 a)와 b) 각각 13.3A, 13.1A까지 증가하였으며, t_A 의 값은 testbad 기준값(2.4초)과 유사하게 주어지는데 비해, Zone 2의 t_B 최대값은 testbad 기준값(4.5초)에 비해 각각 4.1초, 3.7초까지 관련 시간이 단축되었다. 또한 Zone 3의 t_c 최대값도 testbad 기준값(5초)에 비해 각각 4.6초, 4.3초까지 관련 시간이 단축되었다.

그림 7(type 3)은 BB역에 2002년 B사 제작, 2003년 설치한 선로전환기에 대해 주기적으로 전환 전류값을 72회 측정된 결과이다. type 3은 2003년에 설치되었음에도 불구하고 zone 1에서의 최대 전류값은 testbad 기준값(8.8A)에 비해 a)와 b) 각각 11.0A, 9.2A까지 타 선로전환기에 비해 소폭 증가하였으며, t_A 의 값은 testbad의 기준값(2.4초)과 유사하게 주어진다. Zone 2의 t_B 최대값은 testbad 기준값(4.5초)에 비해 3.7초까지, 그리고 Zone 3의 t_c 최대값도 testbad 기준값(5초)에 비해 각각 4.0초까지 관련 시간이 단축되었다.

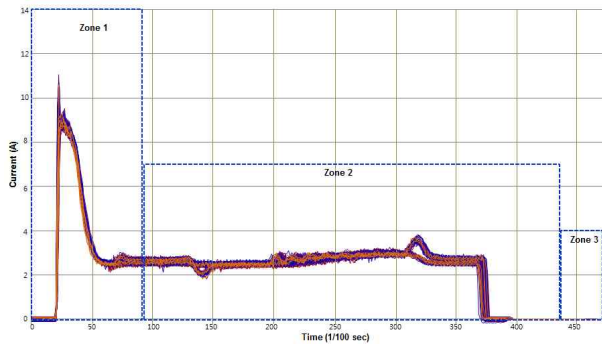
그림 8(type 4)에서 a)는 BB역에 2003년 D사 제작 후, 2003년 설치, b)는 2002년 B사 제작 후, 2004년 설치한 선로전환기에 대해 주기적으로 전환 전류값을 75회 측정된 결과이다. type 4의 Zone 1에서 최대 전류값은 testbad 기준값(8.8A)에 비해 a)와 b)

각각 13.9A, 9.5A까지 증가하였으며, t_A 의 값은 testbad 기준값(2.4초)과 유사하게 주어진다. Zone 2의 t_B 최대값은 testbad 기준값(4.5초)에 비해 각각 4.2초, 3.7초까지 관련 시간이 단축되었으며, Zone 3의 t_c 최대값도 testbad 기준값(5초)에 비해 각각 4.6초, 4.0초까지 관련 시간이 단축되었다.

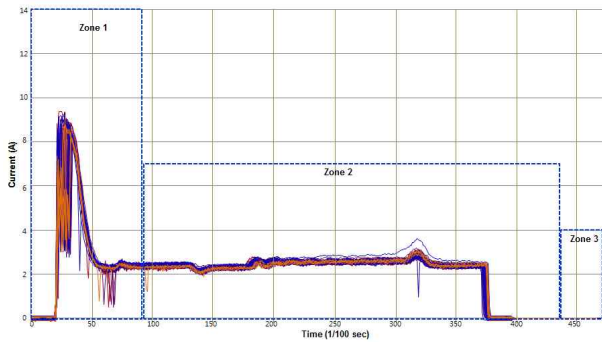
그림 9(type 5)은 BB역에 2002년 B사 제작, 2005년 설치한 선로전환기에 대해 주기적으로 전환 전류값을 76회 측정된 결과이다. type 5는 2002년 제작후 3년이 지난 2005년에 설치되었음에도 불구하고 zone 1에서의 최대 전류값은 testbad 기준값(8.8A)에 비해 a)와 b) 각각 11.7A, 12.4A까지 측정되고, t_A 의 값은 testbad 기준값(2.4초)과 유사하게 주어진다. Zone 2의 t_B 최대값은 testbad 기준값(4.5초)에 비해 a)와 b) 각각 3.7초, 3.5초까지, 그리고 Zone 3의 t_c 최대값도 testbad 기준값(5초)에 비해 모두 3.9까지 관련 시간이 단축되었다.

3.3 측정값 분석 및 검토

testbad 선로전환기에 대한 측정값은 90,000회 전환시험을 실시하면서 측정된 전류값과 시간에 대한 최대값과 최소값을 나타낸다. 전환 전류 최대값은 zone 1에서 8.8~8.5A이며, t_A 는 회전력 시험 횟수에 관계없이 항상 일정한 값으로 주어진다. zone 2의 t_B 는 4.45~4.58초로 측정되었으며, t_c 는 5초로 일정한 값을 갖는다. type 1~5 선로전환기에 대한 측정값은 testbad 선로전환기에 대한 측정값보다 대부분 높게 표시되며, 이는 선로전환기의 제작



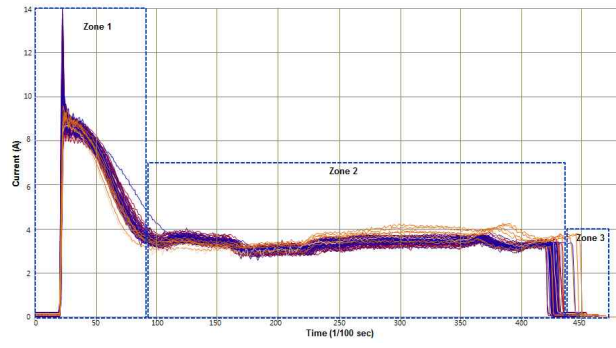
a)



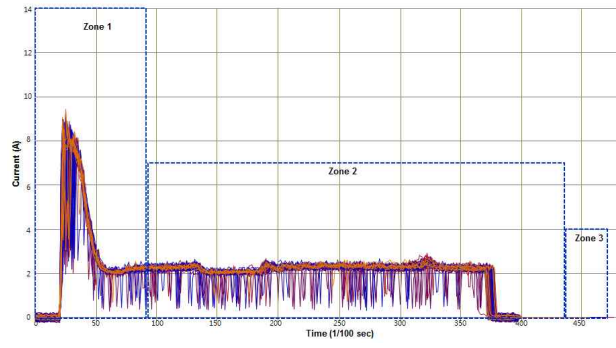
b)

그림 7 전환 전류 측정 : 사례 3

Fig. 7 Switching current measurement : type 3



a)



b)

그림 8 전환 전류 측정 : 사례 4

Fig. 8 Switching current measurement : type 4

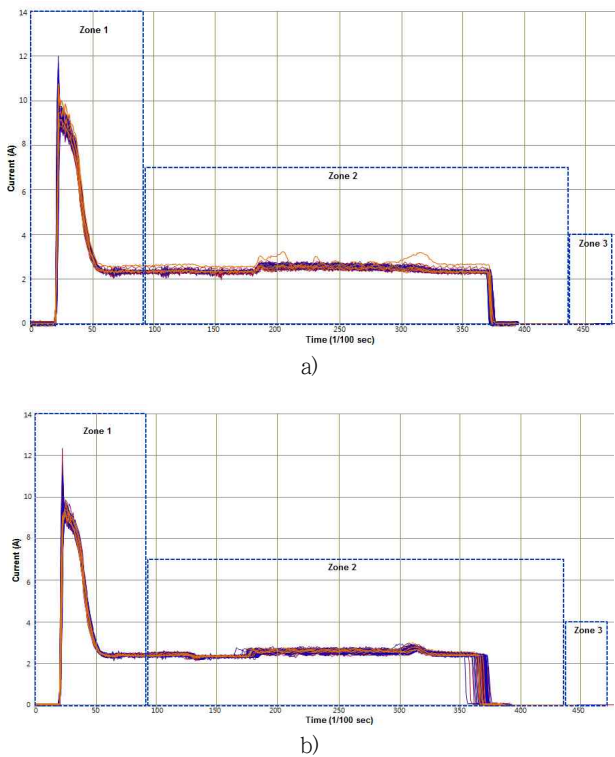


그림 9 전환 전류 측정 : 사례 5
 Fig. 9 Switching current measurement : type 5

및 설치에 무관하게 앞의 그림 3에서 언급한 Upper~Lower 구간을 형성함을 알 수 있다. t_A 는 모든 type 선로전환기에서 testbad 선로전환기의 측정값 범위를 크게 이탈하지 않음을 확인하였다. 이는 전환이 시작되는 지점은 항상 일정함을 의미한다. 그러나 t_B 의 경우에는 testbad 선로전환기에 비해 시간이 단축되었음을 확인할 수 있다. 이는 실제적으로 선로전환기의 전환이 완료된 시점으로 testbad에 비해 쉽게 유동됨을 알 수 있다. 이러한 영향은 t_B 에도 인가됨으로서 관련 시간이 단축되었음을 알 수 있다. 여기서 전환 전류값과 관련 시간의 증대는 선로전환기의 설치 및 운영 시간에 대해 반비례함을 확인할 수 있다. 이러한 데이터는 선로전환기의 노후화를 확인할 수 있는 가장 간단한 방법으로 추정된다. 즉 전환 전류값의 증가 추세와 t_C 값의 감소 추세를 type 선로전환기와 비교함으로써 선로전환기의 노후화가 어느 정도 진행되었는지를 추정할 수 있을 것으로 예상된다. 좀더 정확한 기준값을 구성하기 위해서는 각각의 선로전환기 전류 측정값을 이용하여 전류의 변화도 및 전체 적용 에너지량을 추가로 분석할 필요가 있다. 이를 이용하여 모든 유사 선로전환기에 대한 기준 패턴을 설정한 후, 노화 특성을 분석하려는 선로전환기의 데이터를 상호 비교하여 선로전환기의 노화 상태 또는 고장상태 특성을 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

type 1은 시간의 흐름에 따라 선로전환기의 전환 전류는 점점 증가하지만, 전환시간은 점점 감소하는 것을 확인할 수 있는 가장 기본적인 사례를 확인할 수 있다. type 2의 경우에는 초기의 설치 데이터를 측정함으로써 testbad 데이터는 불필요하지만, 측

정값은 testbad 측정값과 매우 상이한 형태로 주어짐을 확인할 수 있다. 이는 선로전환기의 영업선 운영 환경 영향이 매우 큼을 의미한다. type 2a)의 최대 전류 변화는 매우 불규칙하며, 시간의 경과에 따라 전류는 증가하고, 전환시간은 점점 감소하였다. type 2b)의 전류 측정값은 시간의 경과에 따라 한계치를 예측할 수 없는 형태로 주어졌다. 이러한 경우에는 선로전환기의 조정 및 재설치를 필요로 한다. 또한 type 1과 type2는 동일한 역(조정리역) 구내에 설치되고, 단지 제작년도와 제작사만이 상이하지만, 관련 전환 전류의 특성은 오히려 최근에 설치된 type 2에서 불안정하게 발생함을 확인할 수 있다. type 3은 a)와 b) 두 개의 선로전환기 전환 전류의 유형이 유사하게 주어지는 반면, b)에 있어서 불규칙한 변화가 수시로 관측됨에 따라, 선로변 환경의 영향을 추가적으로 검토할 필요가 있을 것으로 예측된다. type 4의 a)는 최대 전환전류가 현재까지 측정된 모든 선로전환기에 비해 가장 큰 값을 가지며, 시간의 경과에 따라 지속적으로 증가하는 추세를 보인다. 이러한 경우에는 t_C 값이 작아지는 것이 일반적이지만, a)의 경우에는 반대로 t_C 값이 증가함을 알 수 있다. type 4의 b)는 매 측정시마다 불안정한 진동을 유발하는 것을 알 수 있다. 결과적으로 type 4의 선로전환기는 설치 환경과의 인터페이스에 문제가 있는지, 아니면 관련 선로전환기 자체의 특성상의 문제점인지를 확인할 필요가 있다. type 5는 a)와 b) 모두 가장 안정적인 전류 유형을 가지며, 전류의 상한값과 하한값의 변화폭도 타 선로전환기에 비해 가장 작게 측정됨으로서 현재까지 검출된 모든 선로전환기중 최상의 상태를 유지하는 것으로 분석된다.

선로전환기가 설치된 역을 기준으로 전환 전류를 분석할 경우, AA역은 2014년도에 설치된 type 2를 제외한 나머지 선로전환기의 경우에는 유사한 전류 특성을 갖는다. BB역은 일부 구간의 선로전환기에서 전환 전류가 불규칙하게 주어지는 특성 이외에는 대부분 유사한 전류 곡선을 유지한다.

제작사 측면의 전환 전류 특성 곡선은 약간씩 다르게 주어진다. type 1a)의 A사는 Zone 2의 전환 전류가 굴곡을 형성하지만,

표 4 전환 전류 관련 측정값

Table 4 Measured values related to switching current

	A(A)		t_A (sec)		t_B (sec)		t_C (sec)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
testbad	8.8	8.5	24	24	445	458	500	500
type 1a	13.0	11.4	22	24	365	376	389	394
type 1b	12.5	11.8	24	26	378	385	402	409
type 2a	13.3	12.9	22	24	411	454	457	476
type 2b	13.1	12.4	22	26	374	420	426	433
type 3a	11.0	10.6	22	24	367	375	391	398
type 3b	9.2	9.2	24	24	370	376	391	398
type 4a	13.9	12.8	22	24	420	449	457	472
type 4b	9.5	8.9	26	28	365	376	398	400
type 5a	11.7	10.8	22	24	370	374	392	396
type 5b	12.4	11.4	22	24	354	372	387	396

type 2의 C사는 Zone 2의 전환 전류가 거의 직선으로 주어진다. type 4a)의 D사는 Zone 1의 전환 전류 감쇄가 완만한 유형으로 진행되며, Zone 2의 전환 전류 곡선은 A사와 유사한 형태로 구성된다. type 1b), type 3, type 4b), 등과 같은 B사의 경우에는 Zone 2의 전환 전류 곡선에 있어서 큰 변화를 가져오지 않는 반면, 3~3.5초 사이에서 전류가 소폭 상승한 다음 하락하는 곡선을 갖는다. 이는 선로변 설치 환경과 무관하게 제작사에 따라 전환 전류의 특성이 약간씩 상이함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 현장 경험을 기반으로 선로전환기의 장애에 따른 전환전류와 전환시간의 상관관계를 분석하였고, 이를 통하여 전환전류와 전환시간의 증가는 선로전환기의 비정상 상태임을 확인하였다. 그 결과, 전환전류와 전환시간의 비정상적인 상태를 조기 확인할 수 있다면 선로전환기에 장애가 발생하기 이전에 선로전환기의 장애를 진단 및 예측이 가능할 것으로 추정하였고, 이를 통해 선로전환기의 노후화 특성을 분석할 수 있는 것으로 실험을 통해 검증하였다. 선로전환기의 노화 특성 분석 실험은 (주)세화의 야외 시험장에 설치된 선로전환기를 이용하여 90,000회까지 전환 전류와 관련 전환 시간을 측정하였다. 측정을 통해 선로전환기의 전환 전류 흐름, 최대 및 최소 전류값과 전환 시간의 한계치는 물론 동작 횟수의 증가에 따라 무부하 상태임에도 불구하고 전환전류와 전환시간의 지속적인 변화를 확인하였다.

이를 기반으로 한국철도공사의 영업선에서의 측정은 2014년부터 2016년까지 실시하였다. 측정에 적용된 선로전환기의 대부분은 현장에 설치되어 15년 이상 운영되었음에도 측정값은 야외 시험장의 측정값과 유사한 특성을 가지며, 일부 선로전환기의 경우에는 전환시간이 규격 기준을 충족하지만, 전환전류는 규격 기준을 이탈하는 경우가 수시로 발생하였다. 특히 이러한 현상은 선로변 환경에 따라 서서히 발생하거나 또는 좀 더 빠르게 발생하는지의 차이가 존재할 뿐, 전환전류와 전환시간의 변화는 피할 수 없다는 점에서 관련 특성은 노후화와 직접적인 연관이 있는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 선로전환기의 사용 기간이 길수록 변화가 더욱 크게 나타나며, 설치 환경 및 제작사에 따라 상이하게 변화됨을 확인하였다. 본 논문에 적용된 선로전환기의 대부분은 장기간 현장에 설치, 운영됨으로서 다양한 유형의 노화 현상의 분석 자료로 활용할 수 있었다. 따라서 향후에는 제작사, 제작시기, 설치시기, 분기기의 유형, 선로전환기의 유형, 설치된 역의 열차 속도 및 운행 특성, 본선과 부분선, 등 다양한 열차 운행 환경에 따른 다양한 측정 환경의 분류 및 분석을 필요로 한다. 이에 따른 방대한 양의 데이터는 실제적인 선로전환기의 실시간 진단 및 예방을 위한 기준 및 범위 등을 설정하기 위해 각각의 운영 환경에 따라 규격화함으로써 운영 및 유지보수 기관의 요구에 부합하는 선로전환기 및 분기기의 실시간 진단 및 감시시스템 구축이 가능할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 기술은 선로전환기 뿐만 아니라, 안전과 관련된 철도의 타 설비에 대해서도 연구의 필요성이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업 “열차자율주행제어 핵심기술개발”의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] J.H. Baek, H.J. Jo, E.K. Chae, H.Y. Choi, Y.K. Kim, “Feasibility Study of Improved Train Control System Using On-board Controller for Intelligent Control of Trackside Facilities”, Journal of the Korean Society for Railway Vol. 16, No. 6, pp. 528-533, 2013.
- [2] J.H. Lee, Y.K. Kim, “A Study on Switching Power Measurement of an Electrical Point Machine Using a Sensor”, Journal of the Korean Society for Railway Vol. 18, No. 4, pp. 335-343, 2015.
- [3] S.G. Park, J.W. Lee, E.S. Choo, H.S. Hong, M.S. Hong, H.Y. Yoo, C.S. Mo, S.J. Kwon, “A Study on the Design Solution of a Decision Making for Railway Switches”, KIEE Summer conference 2014, pp. 1643-1645, 2014.
- [4] E.S. Choo, M.S. Kim, H.Y. Yoo, C.S. Mo, E.S. Son, S.G. Park, J.W. Lee, “A Design Solution for a Railway Switch Monitoring System”, Journal of the Korean Society for Railway Vol. 18, No. 5, 2015. pp. 439-446, 2015.
- [5] J. Sa, H. Kim, H.Y. Kim, Y. Chung, D. Park, S. Yoon, and K. Lee, “Real-Time Detection of Abnormal Current Patterns in Electrical Point Machines”, 2016 Spring conference of thr Korean Society for Railway, pp. 436-440, 2016.
- [6] J.H. Lee, “A study on the real-time fault detection and diagnosis of point machine using big data analysis”, Ph.D thesis, Woosong University, 2017.
- [7] Y.S. Song, Y.K. Kim, J.H. Back, G.Y. Kim, “Vibration Measurement and Assessment for Hydrostar in High Speed Railroad”, KIEE Summer conference 2012, pp. 1532-1533, 2012.
- [8] I.H. Lee D.H. Kim, M.H. Kim, J.W. Seo, D.I. Kim, H.H. Jung, “A Study on the Existing State of Preventive Maintenance and the Improvement Measures for a Point Machine”, 2011 Spring conference of thr Korean Society for Railway, pp. 1174-1181, 2011.
- [9] J.Y. Park, “The study of monitering system for enhancement electrical point machine maintenance” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 11, No. 11, pp. 3115-3120, 2009.
- [10] J.H. Baek, Y.K. Kim, “The Site Installation Test of Single-Phase MJ81 Switch Point Machine Localization”, Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation

Society Vol. 10, No. 12, pp. 3632-3637, 2009.

- [11] Korea Rail Network Authority, "Research report for finding a way to prevent point machine disabilities of Gyoungbu High speed line stage 2", 2011.
- [12] J.H. Lee, Y.K. Kim, J.Y. Park, "A Study on the Field Application of Switching Power Measurement by using Sensor in Electrical Point Machine, The transactions of KIEE Vol. 64, No. 7, pp. 1130-1136, 2015.
- [13] C. Myers, and L. Rabiner, "A Comparative Study of Several Dynamic Time-Warping Algorithms for Connected Word Recognition", The Bell System Technical Journal, Vol. 60, No. 7, pp. 1389-1409, 1981.
- [14] M. Vileiniskis, R. Remenyte-Prescott, D. Rama, "A fault detection method for railway point systems", In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F : Journal of Rail and Rapid Transit, pp. 1-14, 2015.
- [15] J.H. Baek, Y.K. Kim, D. Shin, K.M. Lee, "The localized development of single phase MJ81 Switch point machine", KIEE Summer conference 2009, Muju, Korea, pp. 1881-1882, 2009.
- [16] Korean Railway Standards, "N.S-type Point Machine", KRS SG 0026 - 15 (R), 2006.

저 자 소 개



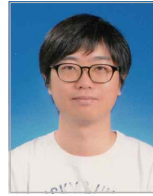
김 용 규 (Yong-Kyu Kim)

1987년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업 (석사)
 1993년 프랑스 로렌국립공학원(INPL) 제어공학과 졸업(DEA)
 1997년 프랑스 로렌국립공학원(INPL) 제어공학과 졸업(박사)
 현재 한국철도기술연구원 수석연구원
 E-mail : ygkim1@krri.re.kr



이 종 현 (Jong-Hyun Lee)

2014년 우송대학교 대학원 철도시스템학과 졸업(석사)
 2015년 우송대학교 대학원 철도시스템학과 졸업(박사)
 현재 (주) 세화 대표이사
 E-mail : 7n8@korea.com



김 주 엽 (Ju-yeop Kim)

2004년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업
 2010년 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(박사)
 2011년 삼성전자 무선사업부 책임연구원
 현재 한국철도기술연구원 선임연구원
 e-mail : jykim00@krri.re.kr



오 세 찬 (Seh-Chan Oh)

2004년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업 (석사)
 2013년 아주대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 현재 한국철도기술연구원 선임연구원
 e-mail : soh@krri.re.kr



송 용 수 (Yong-Soo Song)

2003년 연세대학교 졸업(석사)
 2016년 연세대학교 졸업(박사)
 현재 한국철도기술연구원 선임연구원
 e-mail : adair@krri.re.kr



백 종 현 (Jong-Hyun Baek)

1997년 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 졸업(석사)
 2009년 전북대학교 메카트로닉스 공학과 졸업(박사)
 현재 한국철도기술연구원 책임연구원
 e-mail : jhbaek@krri.re.kr



윤 용 기 (Yong-Ki Yoon)

1996년 충북대학교 전기공학과 졸업(석사)
 2016년 한양대학교 전자전기제어계측공학부 수료(박사)
 현재 한국철도기술연구원 책임연구원
 E-mail : ykyoon@krri.re.kr