

전기철도차량 전력변환장치 성능시험 기술

김명룡*, 류준형**

(한국철도기술연구원 시험인증센터 *책임연구원, **선임연구원)

전기철도차량에는 대용량 추진제어 컨버터/인버터부터 소용량 스위칭 모드 전원장치에 이르기까지 철도차량의 운행에 필요한 각종 동력 및 전력을 공급하기 위한 여러 가지 형태의 전력변환장치가 사용되고 있다. 그 중 가장 대표적인 전력변환장치가 추진제어인버터와 보조전원장치이다. 전기철도차량의 성능평가는 전력변환장치의 성능평가라 할 수 있을 정도로 많은 비중을 전력변환장치가 차지하고 있다. 한국철도기술연구원은 국토해양부로부터 지정받은 성능시험기관으로서 국내 도시철도 및 철도차량의 성능평가를 수행하고 있다. 성능시험은 차량의 제작공정에 따라 부품시험, 구성품시험, 완성차시험, 예비주행 및 본선시운전의 각 단계별로 실시하고 그 시험기준으로 도시철도차량의 성능시험에관한기준 및 철도차량성능시험 시행지침이 적용된다⁽¹⁾⁻⁽³⁾. 성능시험기준을 근간으로 추진제어인버터와 보조전원장치의 성능시험에 대한 시험항목과 시험방법에 대하여 소개한다.

1. 서론

추진제어인버터 및 보조전원장치의 성능시험은 절연, 제어기 및 각종 센서회로의 기능과 특성, 출력성능, 용량 및 효율, 입력전압변동(line regulation), 부하변동(load regulation), 과도안전성, 전자파적합성, 환경 내구성 및 소

음 등이 전기철도차량의 사용용도에 적합인지 확인하기 위하여 차량에 설치 전/후에서부터 주행시험에 이르기까지 각 단계별로 시험을 실시하고 있다. 특히 추진제어장치의 출력 성능은 R-L 부하 등에 의한 간이시험을 비롯하여 견인전동기를 조합한 상태에서 최대부하와 등가인 회전관성설비 혹은 전력회생형 동력계를 이용한 모의부하시험, 실제차량의 최대부하에 대한 감/가속성능 확인 및 최고속도주행시험을 실시한다. 또한, 전기철도차량의 운영환경으로 광범위하게 자리 잡고 있는 정보 통신 기반 환경과의 적합성을 확인하기 위한 유도장예시험 등이 실제차량 상태에서 이루어진다⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾.

2. 절연시험

2.1 구성품시험

2.1.1 부분방전시험

고전압이 인가되는 소자 또는 부품의 절연 확인을 위한 시험으로, 인버터 동작 시 피크전압이 2 kV 이상 걸리는 소자 또는 부품을 대상으로 한다. 그림 1과 같이 반복동작 전압 최대치(U_m)의 1.5배 이상, 주파수 50 Hz 또는 60 Hz의 교류전압을 10초 동안 안정시킨 후 t_1 (1분)동안 인가하며 부분방전을 관찰한다. t_1 이후 전압을 10초 내에 $1.1 \times U_m$ 으로 감소시키고, 이후 t_2 (30초)동안 이 전압을 인가하며 마지막 5초 동안 부분방전 수준이 측정된다.

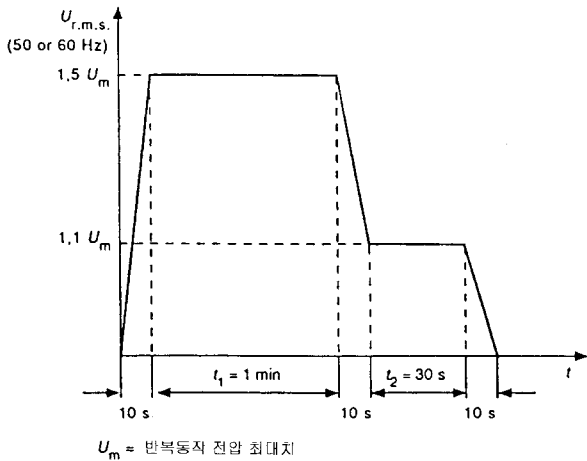


그림 1 부분방전 시험전압

2.1.2 절연저항시험

구성회로의 절연저항 측정으로 절연의 적합성 확인을 위하여 실시하며, 내전압시험 전후에 각각 시험한다. 장치 내부의 전기적인 회로는 고압회로, 저압(제어회로)회로로 구분하여 시험전압이 인가되도록 서로 연결하며, 시험회로에 연결되지 않은 구성품이나 세부부품은 절연저항시험동안 접지시켜 시험전압으로부터 보호되도록 한다.

2.1.3 내전압시험

구성회로의 내전압 성능확인을 목적으로 하며, 실시 전후에 절연저항시험을 반드시 실시하여 이상이 없음을 확인한 후, 전압별로 고압회로, 저압(제어회로)회로로 구분하여 시험전압이 인가되도록 서로 연결하여 시험한다. 시험회로에 연결되지 않은 구성품이나 세부부품은 내전압시험동안 접지시켜 시험전압으로부터 보호되도록 한다. 시험전압(U_p)의 주파수는 상용주파수, 시간은 1분, 전압의 크기는 실효치 값으로 다음 식으로 정해진다.

$$U_p[V] = \frac{2U_m}{\sqrt{2}} + 1000[V]$$

여기서, U_m 은 내전압을 인가하는 두 단자사이의 최소 반복 피크 동작전압이며, 이 시험을 반복할 필요가 있는 경우 두 번째 시험의 전압 값은 절연에 미치는 영향을 고려하여 시험전압(U_p)의 85 % 정도로 감소하여 실시한다.

2.2 완성차시험

2.2.1 절연저항측정 및 내전압시험

추진제어장치의 전원을 인가하기 전에 구성회로의 단락이나 절연의 안전성 확인을 목적으로 하며, 세부 시험방법은

KS R 9197 규격에 따른다^[9].

3. 제어기 및 각종 센서회로의 기능과 특성시험

3.1 구성품시험

3.1.1 제어기능시험

제어기의 구동신호 및 내부 구성요소 간 혹은 외부기기에 대한 제어신호의 적합성 확인을 위한 시험으로, 동작시퀀스, 전력반도체 구동신호, 동작시간 및 위상관계, 제어전원 변동에 따른 출력전압, 그리고 주변기기와의 연계동작 시험으로 주간제어기 노치신호 출력전압, 운행조건과 속도에 따른 출력주파수 변환, 제동제어장치와의 인터페이스 등이 있다.

3.1.2 보호회로동작시험

장치의 이상동작 발생 시 전압센서, 전류센서 및 온도센서 등의 보호검출장치에 대한 정확성을 확인하는 시험으로, 장치의 주전원은 인가하지 않은 상태에서 제어기 전원만을 인가하여 시험한다. 제어전원은 정격전압 및 정격전압 변동 범위의 최소전압과 최대전압을 각각 시험하고, 검출장치에 해당 신호 또는 등가신호를 입력하여 출력파형 및 보호동작의 적합성을 확인한다.

3.1.3 특성시험

추진제어장치 조합시험에서 역행 및 제동 시 추진제어인버터의 제어패턴에 의한 견인전동기의 속도-견인력특성 및 효율 등에 관한 출력을 측정함으로써 차량의 주행성능에 대한 적합성을 확인한다.

3.2 완성차시험

3.2.1 기능확인시험

차량의 주회로 전원이 투입되지 않은 상태에서 제어전원만 인가하여 제어장치를 동작시킨 후 운전등가신호를 입력하여 제어기의 출력동작확인을 목적으로 한다. 인버터의 각종 상태검출기에 모의 고장조건신호를 입력하였을 때 적절한 보호동작을 하여야 하며, 회생전류의 양을 모의 신호로 입력하여 혼합제동관련신호의 적합성을 확인한다.

3.2.2 기동확인시험

역행 및 후진지령에 대한 전력반도체소자 구동신호의 적합성 확인을 목적으로 한다.

3.3 본선시운전

본선시운전 중 역행/가속도/제동/감속도/최고속도시험에서 추진제어인버터의 견인력 및 회생제동 성능을 평가한다. 제동장치와의 연계동작으로 응하중에 따른 회생요구치를

입력받아 회생제동을 체결하고, 이때 만들어진 회생전력을 가선으로 되돌리면서 회생달성치를 제동장치로 전환시켜 혼합제동의 분담율을 조정한다.

4. 출력성능

4.1 구성품시험

4.1.1 경부하시험

정격입력전압 인가 후 장치의 정상동작 여부 확인을 위한 시험으로, 추진제어인버터는 속도지령을 지속적으로 하여 출력전류의 실효치를 측정하고, 보조전원장치는 정격부하전류의 약 10%가 흐르도록 하여 출력 전압과 주파수, 구동회로 및 제어회로의 제어신호와 지연시간, 상회전 방향을 관찰한다.

4.1.2 부하맥동시험

보조전원장치에서 공급되는 직류전류에 포함된 맥동의 수준을 확인하는 것으로, 정격입력전압에서 100% 부하조건으로 실시한다. 출력 직류전류의 평균치, 실효치, 그리고 첩두첩두치를 측정하여 다음 식으로 맥동율을 산정한다.

$$\text{맥동률} = \frac{\text{출력파형의 교류성분 실효치}}{\text{출력파형의 직류성분 평균치}}$$

4.2 완성차시험

4.2.1 무부하 운전 시의 출력전압

차량에 설치된 보조전원계통의 기기를 모두 분리하여 무부하 상태에서 운전하도록 하며, 출력전압의 크기, 주파수, 왜율, 상회전 방향, 리플을 등을 측정한다.

4.2.2 동작시험

보조전원장치가 정상적인 부하조건에서 기동되도록 하여, 출력전압의 크기, 주파수, 왜율, 상회전 방향, 리플을 등을 측정한다.

4.2.3 축전지 및 충전기 기능확인시험

충전기가 정지된 상태에서 축전지를 전원으로 하는 부하 기기를 작동시켜 축전지의 방전종지전압 도달시간 및 방전전류를 측정하고, 정격 입력전압이 인가된 충전기가 규정된 전부하 상태에서 차량의 1일 평균운행시간 내에 축전지를 충전할 수 있는지를 확인한다.

5. 용량 및 효율

5.1 구성품시험

5.1.1 효율시험

장치 효율의 평가를 목적으로 하며, 추진제어인버터는 정격부하를 걸어 60 Hz인 상태에서, 최대 노치 만차 조건으로, 보조전원장치는 정격전압, 정격부하 조건에서 입력 및 출력전력을 측정한다.

5.1.2 안전요구시험

추진제어인버터의 전원이 차단되었을 때 필터커패시터의 에너지가 규정된 시간 내에 방전하는가를 확인하는 시험으로, 방전시간을 측정하여 1분 이내에 전압이 50 V이하로 방전되는지를 확인한다.

5.1.3 온도상승시험

장치 동작 중 구성 부품이 허용온도범위 내에 있는가를 확인하는 시험으로, 추진제어인버터는 사용노선의 특성으로부터 주어지는 운전패턴으로 운전하고, 보조전원장치는 정격전압, 정격부하상태로 각 부분의 온도가 포화될 때까지 실시한다. 자연냉각방식의 경우에는 열차운행조건에 해당하는 주행풍을 가하여 시험하고, 강제냉각방식의 경우에는 냉각장치를 정상적으로 동작시키며 시험한다.

5.1.4 냉각장치시험

강제 냉각방식의 냉각장치 성능 확인을 목적으로 하며, 냉각장치의 입력 전압, 전류, 주파수, 냉각장치에 사용된 팬 등의 회전속도, 풍량, 그리고 소음 및 운전 상태를 측정한다. 냉각장치에 공급하는 전원을 정격허용범위의 최소전압, 최소주파수에서 최대전압, 최대주파수로 변동시키며 각 항목을 측정하여 이상이 없어야 한다. 풍량은 KS B 6311에 의한 토출관을 이용하여 측정하며, 측정점은 사용된 송풍기의 종류에 따라 KS B 6361에 의하여 선정한다^{[10]-[11]}.

5.1.5 신뢰성시험

추진제어장치인 인버터와 견인전동기를 조합하여 운행예정인 노선에서의 영업운전패턴으로 시험하며 80시간 이상 연속 운전하여 각 장치에 이상이 없어야 한다.

5.2 본선시운전

5.2.1 주요기기온도및상태시험

차량에 설치된 주요기기 온도 및 동작 상태를 확인하여 사용조건에 대한 적합성 및 안전성을 평가하기 위한 시험으로, 추진제어장치를 비롯한 주요기기의 온도를 시험운행동안 기록하여 각 장치별로 정해진 온도범위 이내이어야 하며, 측정온도는 운행 전, 후에 측정하여 기록한다.

6. 입력전압변동(Line regulation)

6.1 구성품시험

6.1.1 기동 및 정지시험

입력전압 변동에 따른 보조전원장치의 안정적 기동과 정지를 확인하는 시험으로, 부하는 0%, 50%, 100% 및 단시간 과부하정격 조건에서 기동 시퀀스, 입력전압 및 제어전원을 최소에서 최대로 변동하면서 기동 및 정지, 고장 시 정지 및 재기동 동작을 확인한다.

6.1.2 전압변동시험

보조전원장치의 전원전압변동이 있을 때 장치의 출력전압이 규정치 내에 있는 지를 확인하는 시험으로, 입력전압의 최소 및 최대전압에서 가변부하에 대한 출력전압의 크기, 왜율, 주파수를 측정한다.

7. 부하변동(Load regulation)

7.1 구성품시험

7.1.1 부하급변시험

보조전원장치가 정상동작 중 부하에 급속한 변동이 발생할 때, 정상동작여부 확인을 위한 시험으로, 단시간차단시험, 단락회로시험, 부하급변시험으로 나누어진다.

(가) 단시간차단시험

정격부하 연결 동작 중 부하와 직렬로 연결된 단락회로 접촉기를 단시간 동작시켜 부하를 차단한 후 재연결하여 출력전압파형과 시간을 기록하고 변환기의 손상여부를 확인한다.

(나) 단락회로시험

입력전압을 정격의 110%로 설정하고, 정격부하를 연결한 상태에서 부하와 병렬로 연결된 단락회로 접촉기를 동작시켜 부하를 단락하여 고장전류가 검출되고, 보호장치와 그 장치가 정의된 동작을 하는지와 규정된 전체 시간 내에 고장제거 장치에 의하여 해제되는지를 확인한다. 차단 후 일정 시간이 흐른 다음 자동으로 재시동 되는지를 확인한다.

(다) 부하급변시험

입력전압을 최저, 정격, 최고로 변동하면서 각각의 전압에서 부하를 0% → 50% → 100%, 100% → 50% → 0%로 변경시킨다. 출력전압을 확인하여 크기, 안정시간을 확인하고 안정된 후 주파수, 왜율을 확인한다.

8. 과도안정성

8.1 구성품시험

8.1.1 공급 과전압과 과도 에너지 시험

규정된 입력조건에서 장치가 손상 없이 동작하는지를 확인하기 위한 시험으로, 장치의 입력단에 과전압 발생장치를

연결하고 정격전압을 인가한 상태에서 시험한다. 입력필터와 보호장치를 포함하여 장치는 정상적인 전원을 공급하는 상태에서 그림 2의 ①과 ②의 전압을 인가한다. 장치의 입력단에 ①의 전압을 인가하였을 때 정상동작 해야 하며, ②의 전압을 인가하였을 때는 이 전압에 의한 손상을 받지 않아야 한다.

8.1.2 보호시스템시험

추진제어장치 조합시험 시 추진제어장치를 성능최대부하에 해당하는 조건으로 운전하며, 제어전원 및 입력전원의 변동, 전원 차단 및 투입, 최대회생상태에서의 회생부하 차단 등의 조건을 인가하여 추진제어장치의 동작을 확인한다.

8.2 본선시운전

8.2.1 보호장치동작 확인시험

차량의 운행 중 이상상태 발생 시 차량 및 기기의 동작을 확인하기 위한 시험으로 과부하시험, 순간정전시험, 전압급변시험을 실시한다.

1) 과부하시험

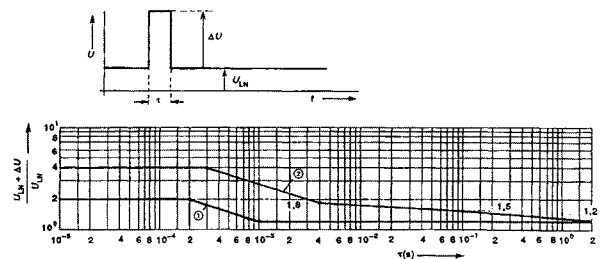
역행 시 과부하조건이 발생하였을 경우 정상적인 검출과 이에 따른 보호동작의 안전성을 확인한다.

2) 순간정전시험

역행과 회생 제동 등의 조건에서 전차선이 정전되었을 경우, 차량 및 구성품의 보호를 위한 보호동작의 안전성을 확인한다. 차량을 최대견인력으로 출발시키며 차량에 유입되는 전차선 전류가 최대인 속도에서 전차선 정전 시와 최고 운행속도까지 가속한 후 전기제동을 동작시킨 상태에서 제동을 체결하여 전기제동에너지가 최대인 속도에서 전차선 정전 시의 보호동작 및 재인가 시 정전시간에 따른 규정된 동작의 수행여부를 확인한다.

3) 전압급변시험

차량 운행 중 전차선 전압이 급변하였을 경우 차량 기



- τ : 과전압 지속시간(s)
- ΔU : 과전압 최고치와 정격전압의 차
- U_{LN} : 정격전압

그림 2 직류전원의 과전압 수준

능의 안정성을 확인하는 시험으로, 차량을 최대견인력으로 출발시키며 에너지가 최대인 영역의 최고속도에서 정격전압의 +10%로 전압을 변동시키고, 최고운행속도까지 가속한 후 전기제동을 동작시킨 상태에서 제동을 체결하여 에너지가 최대인 영역의 최고속도에서 정격전압의 -10%로 전압을 변동시켜 전압급변 시 이상 유무를 확인한다.

9. 전자파적합성시험

9.1 구성품시험

9.1.1 전자파내성시험

외부에서 장치로 유입되는 전자기 노이즈에 대한 간섭의 수준을 평가하고 안전성 확인을 목적으로 한다. 장치에 정격제어전압을 인가하고, 전자파 외란에 의한 제어회로의 이상 동작, 동작시퀀스, 전력반도체 구동 신호 등을 측정한다. 세부 시험방법은 IEC 62236 규격에 따른다^[12)-(18)].

9.1.2 유도장애시험

추진제어장치 조합시험에서 성능최대 부하조건으로 정지 상태에서 최대속도까지 역행 및 제동모드로 운전하며, 10 km/h의 속도간격으로 스펙트럼 분석기를 이용하여 고조파 전류를 측정 후, 궤도회로의 사용주파수대별로 전도성 노이즈에 의한 간섭여부를 확인한다.

9.2 본선시운전

9.2.1 유도장애시험

차량으로부터 발생하는 전자유도간섭의 수준을 측정하기 위하여 전도성, 유도성, 복사성 간섭시험 및 객실자계를 측정한다. 세부 시험방법은 IEC 62236 규격에 따른다^[12)-(18)].

1) 전도성 간섭시험

차량의 전력변환장치에서 발생하는 고조파의 수준을 측정하여 지상신호설비에서 요구되는 제한치에 대한 적합성을 확인하기 위한 시험으로, 변전소 귀선에서 전류의 고조파 성분을 측정한다.

2) 유도성 간섭시험

차량의 운행 중 궤도에 유도되는 유도전압의 수준을 측정하여 지상신호설비에서 요구되는 제한치에 대한 적합성을 확인하기 위한 시험으로, 측정된 전류로부터 등가방해전류를 산정한다.

3) 복사성 간섭시험

차량의 각종 전자장치 부근에서 형성되는 고전계의 복사성 간섭으로 인한 차량 내 제어기기 동작의 안정성을 확인하기 위한 시험으로, 정지 상태, 저속운행 시 역행 및 제동, 최대전력, 최고속도, 최대회생 조건에서 실시한다.

4) 객실 자계 측정

인체의 유해성 및 실내장치의 동작성능에 영향을 줄 수 있는 자계 강도를 확인하기 위한 시험으로, 주변압기, 추진 제어인버터, 보조전원장치, 견인전동기, 필터리액터 등 자계를 많이 방출하는 장치 상부에서 측정하며, 판정기준은 전자파 인체보호기준에 따른다^[18)].

10. 환경 내구성시험

10.1 구성품시험

10.1.1 환경시험

규정된 환경조건에서 장치가 정상적으로 성능을 발휘하는가에 대한 확인을 목적으로 하며, 정격전압 정격부하상태에서 실시한다. 고온시험과 저온시험으로 나누어 실시하며, 고온시험은 외기온도를 +40℃, 저온시험은 외기온도를 -25℃로 맞춘 후 온도가 안정된 후에 전원을 투입하여 장치의 동작에 이상이 있는지를 확인한다.

10.1.2 진동시험

차량의 운행 중 발생하는 진동에 대한 장치의 안전성 확인을 목적으로 하며, 장치는 실제 사용 상태와 유사한 조건으로 시험대에 설치하여 전후, 좌우 및 상하의 직교 3방향의 정현파 단진동을 임의 순서로 인가하여 시험을 실시한다. 진동주파수 f 는 1 Hz와 60 Hz사이로서 그 온 진폭 "2a"는 다음과 같이 주파수 f 의 함수로 주어진다.

가) 1 Hz < $f \leq 10$ Hz인 경우 $2a = 50/f$

나) 10 Hz < $f \leq 60$ Hz인 경우 $2a = 500/f^2$


시험기의 제약으로 단독시험이 곤란한 경우, 구성품별로 시험을 실시할 수 있으며 IEC 61373 규격에 따른다^[19)].

11. 소음시험

구성품시험에서 장치 동작 시 소음을 측정하여 규정된 소음수준에 대한 적합성의 확인을 목적으로 하며, 측정단위는 데시벨로 하고, 시간적으로 평균한 등가소음도 dB(A) Leq로 표기한다. 추진제어인버터는 운전 상태를 변화시키며 발생소음이 최대인 운전 상태를 확인 하여 소음을 측정하고, 보조전원장치는 정격전원, 정격부하에서 측정한다. 소음은 장치의 중심높이에서 수평으로 1m 떨어진 거리에서 측정하며, 각 측정위치에서 기록한 음압수준은 주변 압소음을 보정한다. 소음기준은 자연냉각 방식은 70 dB(A)이하, 강제냉각방식은 85 dB(A)이하로 하며, 세부 시험방법은 IEC 61287-1 규격에 따른다^[6)].

12. 결론

전기철도차량에서 가장 중요한 위치를 차지하고 있는 추진제어인버터와 보조전원장치를 중심으로 하여 전기철도차량 전력변환장치의 성능평가를 위한 시험항목 및 시험방법에 대하여 소개하였다. 소개된 시험항목 및 시험방법은 현재 법정시험으로 실시하고 있는 철도차량 성능시험기준으로 적용되고 있으며, 신규 제작되는 전기철도차량에 탑재되는 추진제어인버터와 보조전원장치의 성능을 확인하는 시험기준으로 활용되고 있다. 이와 같은 법제도의 시행으로 새로이 개발되는 전력변환장치의 성능 및 안전성이 검증되고 있으며 철도현장에서 높은 신뢰성을 보이며 활용되고 나아가서는 대중교통의 질적 향상에 기여하고 있다.

또한, 국내의 높은 전력전자 기술력에도 불구하고 대부분 수입에 의존하던 추진제어인버터와 보조전원장치가 이제는 수출품의 대열에 합류하고 있는 상황이다. 하지만 아직도 전기기관차 등의 대용량 전력변환장치는 완전한 국산화가 이루어지지 않고 있으며, 이는 국내에 보유하고 있는 시험설비 등의 제약에서 한 원인을 찾을 수 있다. 철도차량의 특성상 보다 신뢰성 높은 성능검증이 이루어지기 위해서는 주행상태의 성능검증이 필수적인 요소이다. 철도선진국에서는 주행시험기(roller rig) 혹은 충분한 거리의 시험선로 등의 설비들이 전기철도차량 전력변환장치관련 기술개발 및 성능검증에 보편적으로 적용되고 있는 실정이다. 국내에도 이러한 설비가 하루빨리 확충되어 전력변환장치의 성능검증에 활용되기를 기대하는 바이다. 

참고 문헌

- [1] 도시철도차량의성능시험에관한기준, 국토해양부고시 제2008-410호, 2008.8.7 개정
- [2] 철도안전법 시행규칙, 건설교통부령 제456호, 2005.7.13 제정
- [3] 철도차량 안전기준에 관한 규칙, 국토해양부령 제4호, 2008.3.14 개정
- [4] KS C IEC 61287-1 철도용 전기 설비-철도용 전력 변환 장치 - 제1부: 특성 및 시험방법, 2003.6.30
- [5] KS C IEC 61287-2 철도 차량 차상에 설치된 전력 컨버터 - 제2부: 추가기술정보, 2006.4.14
- [6] KS C IEC 61377 철도용 전기 설비-전기 견인용 인버터 구동 교류 전동기 및 제어 장치의 조합 시험 방법, 2003.06.30
- [7] KS C IEC 61377-2 철도용 전기 설비의 복합 시험-제2부: 초퍼 구동형 직류 견인 전동기 및 제어기, 2005.12.09

- [8] KS C IEC 61377-3 철도용 전기 설비-제3부: 전기 견인용 간접 변환기 구동 교류 전동기 및 제어 장치의 조합 시험 방법, 2003.06.30
- [9] KS R 9197 철도차량의 절연저항 및 내전압시험 방법, 1996.12.31
- [10] KS B 6311 송풍기의 시험 및 검사 방법, 2001.11.13
- [11] KS B 6361 송풍기, 압축기의 소음 레벨 측정 방법, 2002.6.22
- [12] KS C IEC 62236-1 철도용 전기 자기 적합성-제1부: 일반 사항, 2006.04.14
- [13] KS C IEC 62236-2 철도용 전기 자기 적합성-제2부: 전체 철도 시스템에서 외부로 나가는 방출, 2006.04.14
- [14] KS C IEC 62236-3-1 철도용 전기 자기 적합성-제3-1부: 철도 차량-열차 및 공차, 2006.04.14
- [15] KS C IEC 62236-3-2 철도용 전기 자기 적합성-제3-2부: 철도 차량-장치, 2006.04.14
- [16] KS C IEC 62236-4 철도용 전기 자기 적합성-제4부: 신호 처리 및 통신 장치의 방출 및 내성, 2006.04.14
- [17] KS C IEC 62236-5 철도용 전기 자기 적합성-제5부: 고정 전력 공급 설비와 장치의 방출 및 내성, 2006.04.14
- [18] 전자파 인체보호기준, 방송통신위원회고시 제2008-37호, 2008.5.19 제정
- [19] KS C IEC 61373 철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법, 2002.6.29

〈 필 자 소 개 〉



김명룡(金明龍)

1963년 8월 19일생. 1989년 중앙대 공과대학 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년~1995년 현대정공 기술연구소 근무. 1995년~현재 한국철도기술연구원 시험인증센터 책임연구원.



류준형(柳俊衡)

1972년 9월 13일생. 1997년 아주대 공과대학 제어공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 2005년~현재 한국철도기술연구원 시험인증센터 선임연구원.