



철도용품 공사규격서

KTX-산천 주변압기

KRCS B394 03

제정 2011.07.12.

개정 2014.02.18.

확인 2017.09.08.

1. 적용범위

본 규격서는 KTX-산천에 사용되는 주변압기에 대해 적용된다.

2. 적용규격

- 1) KS
- 2) KTX-산천 유지보수매뉴얼
- 3) KS C IEC 60310 : 견인용 변압기 및 유도기의 개별 요구사항
- 4) KS C IEC 60076 : 전력용 변압기
- 5) KS C IEC 60836 : 미사용 전기용 실리콘유
- 6) KS C IEC 60349-2 : 전기 견인 철도 차량용 및 도로 차량용 회전기기 제2부 : 컨버터 구동형 교류 전동기의 개별 요구 사항
- 7) KS C IEC 61373 : 철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법

3. 필요조건

3.1 사용환경

3.1.1 기온 : -35 ~ 40℃

3.1.2 습도 : 0 ~ 90% RH(결로가 없는 상태)

3.2 재 료

주변압기의 주요재료는 다음과 같다.

품 명	재질	적용규격	비고
철심	규소강판(30PH105)	KS D 2717	
외함	SS400	KS D 3503	
코일(권선)	타프피치동(C1100 BDC-0)	KS C 3105 KS D 5101 KS C 3002	

3.3 형 태

한국철도공사도면(ETP00700 또는 01-10-04-0115)에 의한다.

3.4 일반사항

- 1) 주변압기는 선두 및 후두에 위치한 동력차(PC1, PC2)의 차상에 각 한대씩 탑재되어 열차 한 편성에 두 대의 주변압기가 탑재된다.

- 2) 주변압기는 설계속도 330km/h까지의 속도에서도 정상적인 운전이 가능하도록 설계 제작되어야 한다.
- 3) 주변압기는 KS C IEC 60310 규격에 맞게 설계 및 제작되어야하고 주전력 변환장치 및 보조 전력 변환장치에 전원공급을 위한 충분한 용량이어야 하고 변압기로부터 누설자속은 주변장치에 어떠한 영향도 미쳐서는 안된다.
- 4) 변압기의 절연등급은 H종으로 하며 절연유는 실리콘유를 사용하여야 한다.
- 5) 주변압기 오일냉각펌프용 전동기는 평상시 객차인버터에서 전원을 공급받아 구동하고 객차인버터전원 공급이 완전 정지되는 경우 보조 인버터에서 전원을 공급받아 구동되어야 한다.
- 6) 모든 권선의 구조는 전원장치의 회로차단기가 차단될 때 까지 2, 3차 단락에 의한 영향에 견딜 수 있어야 한다.
- 7) 주변압기는 판토틀로그래프로부터 전원을 공급받는 1개의 1차(고압)권선, 2대의 주전력변환장치의 컨버터 장치에 공급되는 4개의 2차(견인)권선 및 1대의 보조전력변환장치의 컨버터 장치에 공급되는 4개의 3차(보조) 권선으로 구성되며, 필요시 임피던스 보상용 직렬리액터가 내장된다.
- 8) 변압기의 절연체계를 아라미드(Aramid)계열의 H종 절연물 및 연소점이 일반광유보다 훨씬 높은 실리콘유를 사용한 고온절연시스템(high temperature insulation system)을 적용하여 평균권선온도상승(average winding temperature rise over ambient) 125K, 최고유온도상승(maximum oil temperature rise over ambient) 95K의 변압기로 제작하며, 이 때 발생하는 열은 냉각효율이 좋은 강제송유 풍냉식으로 냉각시키는 구조로 제작되어야 한다.
- 9) 냉각시스템은 유지보수가 용이하도록 설계 제작되며, 오일펌프는 최소한의 전기배선 해체로 착탈이 용이하도록 설계 제작되어야 한다.
- 10) 고압단자로부터의 감전사고 등을 보호하기 위하여 주전원부에 점검커버를 설치한다.
- 11) 주변압기 견인권선 상호간에는 자기결합(magnetic coupling)이 최소화될 수 있도록 제작되어야 하고, 견인권선 상호간의 임피던스 편차는 최소화 되어야 한다.
- 12) 주변압기는 절연유의 온도변화에 따른 유위 변화 및 호흡기의 실리카겔 상태를 육안으로 점검하기에 용이한 구조로 제작되어야 한다.
- 13) 주변압기에서 발생할 수 있는 전자기 유도장애는 철도 차량내의 다른

장치, 지상설비 및 다른 노선의 설비의 안전에 영향을 미치지 아니하도록 최대한 억제되어야 한다.

- 14) 차량 내 다른 장치에서 발생하는 고조파의 영향으로 문제가 발생치 않도록 제작되어야 한다.

3.5 제조 및 가공

- 1) 각 부의 조립부품은 충분한 강도를 유지하도록 접합, 조립 및 밀착시켜 기계 및 전기적 사용에 이상이 없어야 한다.
- 2) 단자이외의 노출된 금속부분은 도장하기 직전에 산화피막(Sealed), 기름(Oil), 먼지 등의 불순물을 완전히 제거한 후 3회 이상 도장한다.

3.6 구조

3.6.1 철심(Core)

- 1) 철심은 투자율이 높고 히스테리시스 손실이 적은 non-aging 방향성 규소강판을 사용하며 또한 철손이나 여자전류를 최소한으로 하기 위해 정밀 절단 가공하여 운전 시 진동, 소음을 최소한으로 줄이며 권선을 지지하기에 충분한 기계적 강도를 갖도록 견고하고 정밀하게 설계, 제작되어야 한다.
- 2) 철심은 변압기 외함에 접지되며 고온의 절연유에 견딜 수 있는 절연피막 처리를 한다. 철심은 단락 고장 시 기계적 응력에 충분히 견디며 운전 시 또는 이동시에 충격이나 진동에 견딜 수 있도록 탱크에 견고하게 지지 고정되어야 한다.

3.6.2 권선(Winding)

- 1) 권선은 양질의 전기동과 본 사양에 적합한 전기 절연재를 사용하여 높은 절연강도를 유지 하여야 하며, 냉각유가 원활하게 순환할 수 있는 구조로 설계, 제작한다. 권선도체의 온도변화에 따른 수축팽창으로 인한 절연손상 및 이상 운전 상태에서의 동요, 만곡 등이 방지되고 충분한 절연유의 순환으로 국부가열의 발생이 경감되는 구조로 한다.
- 2) 권선과 철심간 및 고·저압 권선간의 높은 전압을 효율적으로 절연하기 위한 절연 격리판(barrier)이 설치되며 코일 단말(end coil)에는 선로의 이상상태에서 발생될 수 있는 이상전압과 전자기계력에 대비하여 절연 보강을 실시한다.
- 3) 권선의 접속부분에 대한 접속방법은 용접 또는 압착 방법으로 안전하게 접속하며 권선으로부터 단자판 및 붓싱까지의 모든 리드(lead) 등은 코일 및 접속부의 변형이나 진동에 의한 손상이 일어나지 않도록 견고하게 지지 한다.

- 4) 권선은 원형의 권선관 위에 수직 및 수평 스페이서(spacer)가 설치되며, 이 스페이서는 냉각 및 기계력을 고려한 위치에 균등하게 배치하고 권선방법은 헬리칼(helical) 권선 또는 레이어(layer) 권선 방법을 채택했으며, 대전류에 의해 발생하는 온도상승 및 기계력에도 충분히 견딜 수 있는 구조로 제작한다.

3.6.3 절연체계(Insulation system)

변압기는 소형·경량화를 위하여 고온절연물인 H종 절연물이 사용된 High Temperature System으로 설계, 제작한다.

3.6.4 외함

1) 탱크

변압기 본체의 탱크는 주행 중에 선로로부터 발생되어 변압기로 전달되는 충격이나 진동 등에 충분히 견딜 수 있는 구조로 제작되며, 중신균이 들어 있는 하부탱크 및 통풍구의 역할을 하는 상부탱크의 두 부분으로 분리된 구조로 제작한다. 탱크에는 필요한 부속장치를 구비하고 있으며, 완전히 조립된 변압기는 적합한 개스킷을 사용하여 절연유가 누유 되지 않는 구조로 설계, 제작한다.

2) 냉각방식

- 가) 변압기의 냉각방식은 변압기에서 발생하는 열을 충분히 냉각시킬 수 있는 용량을 가지는 강제 송유풍냉식(forced directed oil circulation and forced air circulation)으로 한다.
- 나) 냉각기는 변압기 상부탱크의 통풍구에 면밀히 결합되며, 유펌프(oil pump) 및 모터팬(motor fan)에 의해 절연유 및 공기의 순환이 이루어진다.
- 다) 냉각기에는 drain plug 및 air vent plug가 부착되며, plug에 부착된 개스킷은 최고절연유온도에서도 안전하여야 하며 내유성, 내한성, 내열성이 있어야 한다.
- 라) 냉각기는 발열 효율이 좋고 외측표면에 물이 고이지 않으며 탱크에 절연유를 채울 때 잔여 기포가 탱크를 거쳐 완전히 배기된다.
- 마) 냉각기는 몇 개의 그룹으로 형성되며 냉각기 본체와 변압기탱크 사이에는 각각 버터플라이 밸브를 설치하여 본체 절연유를 빼내지 않고도 분리 또는 부착할 수 있는 구조로 한다.
- 바) 또한 본체와 동시 진공을 시행할 수 있는 충분한 강도를 가지며 냉각기의 접합부에서 누유 되지 않는 구조로 한다.

3.6.5 콘서베이터

변압기는 절연유가 대기 중에 노출되지 않도록 콘서베이터를 구비하고 장기간의 운전조건에서도 절연유의 열화를 방지할 수 있고 신뢰성이 있는 적합한 구조와 필요한 부속장치를 구비하여야 한다.

3.6.6 점검커버

변압기는 운전 중 동력차내의 안정성을 고려하여, 고압단자부 전체(일차 붓싱 제외)를 둘러쌀 수 있는 별도의 점검커버를 설치한다.

3.6.7 절연유

절연유는 아래의 특성을 나타내는 실리콘유(KS C IEC 60836)를 사용한다.

항 목		사 양
외 관		무색투명
비 중	20℃	0.955 ~ 0.970
동 점 도	40℃	40±4 mm ² /s
유 동 점		- 50 ℃이하
인 화 점		240 ℃이상
연 소 점		340 ℃이상
진 산 가	mg · KOH/g	0.01 mg · KOH/g 이하
함 유 수 분		50 ppm 이하
절연과괴전압		50 kV/2.5mm 이상
비 유 전 율	20 ℃	2.55 ± 0.55
유 전 정 점	90 ℃	0.001 이하
체적저항률	90 ℃	100 GΩm 이상

3.6.8 부속품

변압기는 완전한 하나의 유니트로써 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 필요한 모든 부속품 및 보조장치를 구비하며, 그 주요한 부속품 및 보조장치는 다음과 같다.

품 명	수 량
고압붓싱(Arcing horn 포함)	1
저압붓싱	18
냉각기(Radiator)	2
송풍기(Motor fan)	2
오일펌프(Oil pump)	2
유온도감시진단용 센서(Thermostat)	8
방압안전장치(Pressure relief valve)	1
유류지시계기(Oil flow switch)	2
호흡기(Breather)	1
유면계(Oil level indicator)	1
변류기(Current transformer)	1

1) 고압붓싱

종 류	용 량
정격전압 [kV]	25kV - 50 and 60 Hz
정격전류 [A]	400
상용주파내전압 [kV]	75
충격내전압 [kV]	170

2) 저압붓싱

정격전압 이상의 Solid Type 옥외용 붓싱을 사용한다.

3) 냉각기

알루미늄제로 단위 용적당의 전열면적이 크고, 고성능이며, Al-plate fin tube가 부착된 소형·경량의 냉각기가 변압기 상부탱크의 air box 좌우측에 부착한다.

4) 오일펌프

3상 60Hz AC 440 V 3상 유도전동기 구동의 경량화된 오일펌프가 냉각기 하부 및 하부탱크사이에 2개가 부착된다.

5) 송풍기

3상 60Hz AC 380 V 3상 유도전동기 구동의 경량화된 송풍기가 변압기 상부탱크의 상단에 2개가 부착된다.

6) 방압안전장치

방압안전장치는 누유된 절연유가 동력차내의 다른 시스템을 손상시키지 않도록 보호커버내에 설치되어 있으며, 보호커버에는 oil drain pipe가 설치된다.

7) 유면계

절연유 온도에 따른 유위 변화를 용이하게 점검할 수 있도록 콘서베이터에 부착된다.

8) 유온도 감시진단용 센서

변압기의 운전 상태를 파악할 수 있도록 유온도 감시진단용 센서가 변압기 커버에 설치된다.

9) 호흡기

호흡기는 변압기의 콘서베이터에서 파이프로 연결되어, 육안으로 관찰하기 좋은 위치에 설치되어 있으며 유면 변동에 의한 호흡 작용시 공기 중에 포함된 먼지와 습기를 제거함으로써 절연유 열화정도를 적게 하는 작용을 한다.

10) 유류지시계기

유류지시계는 절연유의 순환을 관리하기 위해 냉각계통의 절연유 순환 파이프에 설치된다.

11) 보조접점

모든 트립 경보용 및 기타 신호용 보조접점의 정격은 DC 72 V(전압 변동범위 : DC 50 V~90 V)이다.

3.7 성능

3.7.1 변압기 조립

권 선 정 격	1차(고압)권선	2차(견인)권선	3차(보조)권선
	연속정격		
상수 [Φ]	1		
주파수 [Hz]	60		
용량 [kVA]	6,200	1,300 × 4권선	250 × 4권선
전압 [V]	25,000	1,400	383
전류 [A]	248	929	653
효율	0.95이상		
냉각방식	강제송유 풍냉식(ODAF)		
냉각용량	315 kW이상		
절연유	실리콘유		
철심구조	내철형		
단자기호	X - Y	A1-A2 B1-B2 C1-C2 D1-D2	E1-E2 F1-F2 G1-G2 H1-H2
상용주파내전압 [kV]	5.2	5.2	2.5
유도내전압(1min) [kV]	60	-	-
뇌충격 내전압 [kV]	150	-	-

3.7.2 냉각기

항목		표준 값	
절연유 측	냉각용량	kW	200
	사용되는 절연유	-	Silicone fluid KS C IEC 60836
	절연유 유량	m ³ /h	75
	절연유 입구온도	℃	110
	절연유 출구온도	℃	103.1
	절연유측 압력손실	bar	≤ 0.8
공기측	입구측 풍량	m ³ /s	2.7
	출구측 풍량	m ³ /s	3.3
	공기 입구온도	℃	25
	공기 출구온도	℃	91.5
	공기측 압력손실	kPa	1.2
전체 중량 (절연유 충전 상태)		kg	242

3.7.3 냉각송풍기

1) 모터

형식	유도전동기
출력	5.5/1.4 kW
정격전류	11/3.2 A
정격전압	380V 60Hz ^{주)}
회전속도	3,550 rpm
내열등급	H

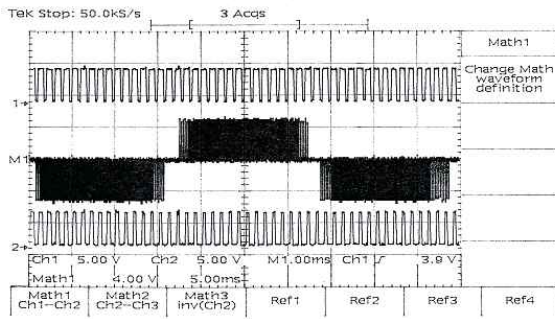
2) 냉각팬

작동온도	91.5 ℃
작동풍량	3.3 m ³ /s ±5%
작동압력	1,014 Pa ±10%
소음레벨(Sound pressure level)	91±3 dB
보호등급(Protection degree)	IP55

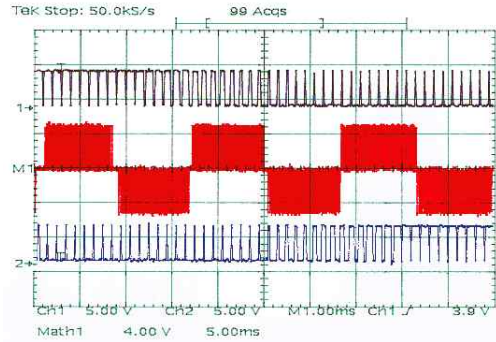
주) 정격전압 : AC 380 V 60Hz(실효치) VVVF inverter

- 출력전압 : - 670V ~ + 670V / PWM 파형(peak to peak치)

- 스위칭 주파수 : 1kHz



Half Mode(30Hz) PWM wave



Full Mode(60Hz) PWM wave

4. 검사 및 시험

4.1 검사

4.1.1 구조 및 결모양검사

철도공사의 도면에 의거하여 변압기 도장상태, 부품취부상태, 누유 여부 및 치수검사를 실시하여 이상이 없어야 한다.

4.2 시험

4.2.1 시험의 분류

4.2.1.1 종합시험

4.2.1.2 부품시험

4.2.2 종합시험

4.2.2.1 시험의 구분

검사 및 시험항목	형식시험	전수시험	비고
1. 권선 저항 측정	○	○	
2. 변압비 시험 및 극성시험	○	○	
3. 무부하손실 및 여자전류 측정	○	○	
4. 절연저항 시험	○	○	KS C IEC 60310
5. 누유시험	○	○	KS C IEC 60076
6. 부하손실 및 임피던스 측정	○	○	
7. 손실 측정(효율측정)	○		
8. 온도상승시험	○		
9. 유도내전압 시험	○	○	
10. 상용주파내전압 시험	○	○	KS C IEC 60310
11. 뇌 충격 내전압 시험	○		KS C IEC 60076
12. 단락시험	○		
13. 절연유 시험	○	○	KS C IEC 60836
14. 소음시험	○		KS C IEC 60076

4.2.2.2 시험의 방법

1) 권선저항 측정

시험 전 절연유 충전 후 최소 3시간 이상 무여자 상태로 안정시킨다.

권선저항측정은 직류전류를 인가하는 전압강하법을 이용하여 측정하고, 측정 시 권선온도를 기록한다.

측정된 권선 저항 값은 기준 온도 값(150℃)으로 환산하고, 측정오차는 기준치의 +5% 이하이어야 한다.

권선구분	기준치	비고
P(X-Y)	저항 < 1.78Ω	+5%
A(A1-A2), B(B1-B2), C(C1-C2), D(D1-D2)	저항 < 37 mΩ	+5%
E(E1-E2), F(F1-F2), G(G1-G2), H(H1-H2)	저항 < 19 mΩ	+5%

2) 변압비 시험 및 극성시험

변압비 측정 계측기 (Ratio meter)를 이용하여 1차권선과 2차권선, 1차 권선과 3차권선간의 권수비를 측정하며 변압기 고압 측에서 일정교류 전압을 인가하여 저압 측에 유기되는 전압과 비교하여 그 비로써 표시한다.

측정결과는 권수비에 대한 오차 값으로 기록하며, 측정오차는±0.5% 이내에 들어야 한다.

권선 구분	기준값	비고
X-Y / A1-A2, X-Y / B1-B2 X-Y / C1-C2, X-Y / D1-D2	17.85714	
X-Y / E1-E2, X-Y / F1-F2 X-Y / G1-G2, X-Y / H1-H2	65.27415	

또한, 1차권선과 각 권선간의 극성을 확인하여 감극성이면 양호로 한다.

- $V_1 > V_3$ ($V_1 - V_2 = V_3$) : 감극성(Subtractive)

3) 무부하손실 및 여자전류 측정

1차 권선을 개방하고 저압 측에서 정격주파수를 갖는 0.8U, 0.9U, U, 1.1U 의 전압을 인가한다. 여기서 U는 1차 권선에 25kV가 인가되는 저압 측의 무부하전압, 즉 2차권선의 경우 1400V, 3차권선의 경우 383V이다. 단, 전수시험은 U 전압에서만 실시한다.

전류계를 전류를 측정하여 여자전류를 구한다.

전력계를 이용하여 무부하 손실을 측정한다.

- 1U에서의 무부하손실은 5 kW (+15%) 이하이어야 한다.

- 1U에서의 무부하전류는 10 A (+30%) 이하이어야 한다.

4) 절연저항시험

1000V 절연저항계로 각 권선 상호간 및 권선과 대지간의 절연저항을 측정하여 500MΩ 이상이어야 한다.

5) 누유시험

상온에서 최소 0.5kg/cm²의 공기압을 함 내에 충기한 후 24시간 이상 유지하는 동안 누유 및 누유 흔적이 없어야 한다.

6) 부하손실 및 임피던스 측정

저압 측(권선권선, 보조권선)을 단락하고, 정격주파수를 갖는 정격전류를 인가한다. 시험전류에 의해 권선온도가 올라가면 그에 따른 손실증가의 원인이 됨으로 측정은 가능한 단시간 내에 하는 것이 좋다. 전압계로 전압을 측정하여 백분율 임피던스 값을 계산한다.

전력계를 이용하여 부하손실을 측정한다.

- 임피던스 : 기준치의 ±15%

시험전류가 정격전류와 차이가 있는 경우 시험전류에 의해 측정된 손실 및 전압은 정격전류에서의 손실과 전압으로 보정한다.

상온에서 측정된 손실 및 임피던스 값은 기준 권선 온도에서의 값으로 보정 한다.

- 부하손실 : 기준치의 +15%

권선조합	기준값		합격기준	비고
P/A+B+C+D (5,200 kVA 기준)	임피던스전압	46%	39.1~52.9	±15%
	부하 손실	250 kW	손실 < 288 kW	+15%
P/A(1,300 kVA 기준)	임피던스전압	42 %	35.7~48.3	±15%
	부하 손실	60 kW	손실 < 69 kW	+15%
P/B(1,300 kVA 기준)	임피던스전압	42 %	35.7~48.3	±15%
	부하 손실	60 kW	손실 < 69 kW	+15%
P/C(1,300 kVA 기준)	임피던스전압	42 %	35.7~48.3	±15%
	부하 손실	60 kW	손실 < 69 kW	+15%
P/D(1,300 kVA 기준)	임피던스전압	42 %	35.7~48.3	±15%
	부하 손실	60 kW	손실 < 69 kW	+15%
P/E(250 kVA 기준)	임피던스전압	50%	42.5~57.5	±15%
	부하 손실	10 kW	손실 < 12 kW	+15%
P/F(250 kVA 기준)	임피던스전압	50%	42.5~57.5	±15%
	부하 손실	10 kW	손실 < 12 kW	+15%

P/G(250 kVA 기준)	임피던스전압	50%	42.5~57.5	±15%
	부하 손실	10 kW	손실 < 12 kW	+15%
P/H(250 kVA 기준)	임피던스전압	50%	42.5~57.5	±15%
	부하 손실	10 kW	손실 < 12 kW	+15%
A/G(250 kVA 기준)	부하 손실	10 kW	손실 < 12 kW	+15%
C/E(250 kVA 기준)	부하 손실	10 kW	손실 < 12 kW	+15%
B/H(250 kVA 기준)	부하 손실	10 kW	손실 < 12 kW	+15%
D/F(250 kVA 기준)	부하 손실	10 kW	손실 < 12 kW	+15%
A/B (1,300 kVA 기준)	임피던스전압	86%	73.1~98.9	±15%
A/C (1,300 kVA 기준)	임피던스전압	80%	68.0~92.0	±15%
A/D (1,300 kVA 기준)	임피던스전압	86%	73.1~98.9	±15%
B/C (1,300 kVA 기준)	임피던스전압	86%	73.1~98.9	±15%
B/D (1,300 kVA 기준)	임피던스전압	80%	68.0~92.0	±15%
C/D (1,300 kVA 기준)	임피던스전압	86%	73.1~98.9	±15%

7) 총손실 산정

총 손실은 기준 참고 온도치 (150℃)로 환산 보정한 부하손실과 무부하 손실의 합이며, 2차 견인 및 3차 보조부하를 조합하여 계산하며, 효율측정에 이용된다.

- 적용오차 : 기준치의 +10%

1차 고압권선 : 248A

2차 견인권선 : 929A

3차 보조권선 : 653A

구분	총손실 보증치	합격기준	비 고
6,200kVA 기준	320 kW	손실 < 352 kW	+10%

8) 온도상승시험

시험하는 동안, 냉각매체의 순환 및 냉각에 관련된 모든 악세사리는 차량에 탑재된 것과 동일한 상태로 배열한다.

상온에서 열 저항 측정 시와 동일한 회로로써 각 권선의 냉 저항과 그때의 권선온도를 측정한다. 기준치 : 권선온도 125K 이하

변압기 유온도 및 주위온도를 온도계법에 의해 측정한다.

변압기의 2차 견인권선을 직렬 연결 후 단락시키고 일차권선에 총 손실에 상당하는 전류를 공급한다. 이 때 보조권선은 개방시키고, 보조권선

의 평균 권선 온도 상승은 별도 시험으로 측정된다.

전 손실 전류를 공급한 상태에서 유온도 상승분이 한시간당 1℃ 이내인 상태가 3시간 이상 지속될 시 유온도는 포화된 것으로 간주하고 최고 유온도 상승치 및 평균 유온도 상승치를 측정한다.

유온도가 포화되면 공급시험전류를 낮추어 1시간동안 공급하며 전력차단 직전의 평균 유온상승치를 측정한다. 기준치 : **절연유온도 95K 이하**
전원차단 후 열 저항을 측정하여 외삽법에 의해 권선 평균 온도를 계산한다. (열 저항 측정 시 및 펌프는 가동한 상태로 둔다)

보조권선 시험은 견인권선 시험 직후 연속적으로 실시되며, 정격전류를 한 시간 동안 통전시킨 후 보조권선의 평균 권선온도 상승만 측정한다.

9) 유도내전압시험

변압기 이차권선 단자에 일차권선 P의 X, Y단자 사이에 60kV가 인가 되도록 전압을 인가하여(단자 Y는 접지 시킨다.) 시험전압의 붕괴 (collapse)가 없을 것

시험전압의 주파수 및 시험시간은 아래와 같다.

$$\text{시험시간} = \frac{\text{정격주파수}}{\text{시험주파수}} \times 120$$

전압인가 부위	시험전압	합격기준
일차권선(P) 및 대지간	60 kV	절연파괴가 없을 것.

10) 상용주파 내전압 시험

각 권선에 지정된 시험전압을 60초간 인가한다.

시험권선을 제외한 권선과 외함은 접지시킨다.

시험전압

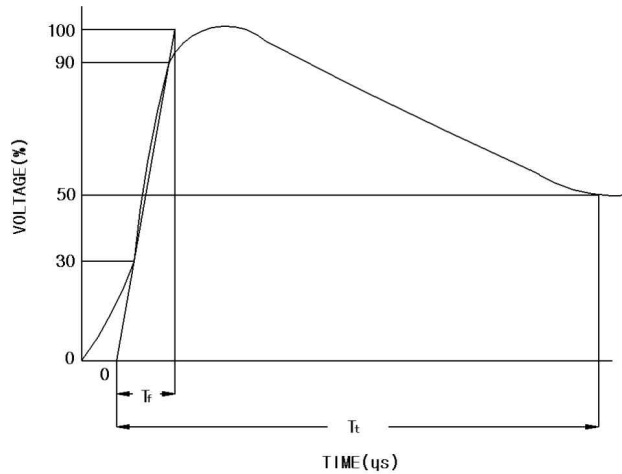
전압인가 부위	시험전압	합격기준
1차권선 P 및 대지 간	5.2 kV	절연파괴가 없을 것.
2차권선 A,B,C,D 및 대지 간	5.2 kV	"
3차권선 E,F,G,H 및 대지 간	2.5 kV	"

11) 뇌충격 내전압 시험

충격시험 전압의 파형은 아래와 같은 음극성을 가진 파형으로 표준파형은 1.2/50μs를 사용한다.

일차권선 단자 X에 전압이 인가되고 단자 Y 및 시험되지 않는 권선 및 탭크는 모두 접지된다.

충격전압의 인가순서는 시험전압 150kV의 50%~75%에 상당하는 저감 전파전압을 1회 인가 후 시험전압의 100%의 전압을 3회 인가한다.



- O1 : 인가된 전압 파형의 30% 및 90% 되는 지점에서 접선을 그어 시간축과 만나는 점
 Tf : Front time(파두장, 표준 $1.2\mu s \pm 30\%$)
 변압기의 경우 파두장은 $2.5\mu s$ 이하면 된다.
 Tt : Tail time(파미장, 표준 $50\mu s \pm 20\%$)

전압인가 부위	시험전압	합격기준
1차권선 단자 X	150 kV BIL	시험전압의 붕괴가 없을 것.

12) 단락시험

가) 기계적인 강도시험

① 변압기의 시험조건

변압기는 냉각시스템을 제외하고 정상운전조건으로 셋업(setup)되고, 4개의 2차 권선권선(A, B, C, D) 및 4개의 보조권선(E, F, G, H) 각각에 연속적으로 단락회로가 구성된다. 변압기의 단락회로는 25 kV 60Hz의 공급전원에 의해 정의되며, 시스템의 임피던스는 무시한다.

비대칭 전류는 아래와 같이 계산되며, 단락전류 통전시간은 $0.25 \pm 10\%$ 초이며, 시험전류의 허용범위는 대칭전류 $\pm 10\%$, 비대칭 전류 $\pm 5\%$ 로 한다.

$$I_{SC} = \frac{25,000}{(Z_t + Z_s)} k \sqrt{2}$$

여기서 $k\sqrt{2}$: 최대비대칭계수, $(1 + e^{-\pi \frac{R_t}{X_t}})\sqrt{2} \leq 2.55$
 Z_s : 계통의 임피던스전압
 Z_t : 변압기의 임피던스전압

② 시험횟수

권선권선 A, B, C, D 보조권선 E, F, G, H에 대해 비대칭전류를 만족하는 3회의 시험을 실시한다.

③ 시험측정사항

a) 단락전류

1차 및 2차 측에 대하여 단락전류가 오실로그래프에 의해 측정되어야 하고, 과전류 계전기가 점검되어야 한다.

b) 변압기 임피던스

하기와 같이 변압기 임피던스가 측정되어야 한다.

- 시험이 실시되기 전
- 시험이 종료된 후

c) 시험간격(interval)

시험간격은 최소 30분으로 하며, 이 시간은 열적 손상이 발생하지 않는 범위 내에서 단축될 수 있다.

d) 시험결과 판정

시험전후의 임피던스를 측정하여 2%이상의 변화가 없어야 한다.

나) 열적평가(계산서)

① 계산절차

대칭단락전류를 2초간 통전했을 때, 권선의 온도는 다음식과 같다.

$$\theta = \theta_0 + \frac{2 \times (\theta_0 + 235)}{\frac{106,000}{J^2 \times t} - 1}$$

여기서, θ_0 : 초기온도

J : 단락전류 밀도(A/mm²)

t : 전류통전시간(sec)

② 시험결과판정

상기의 온도가 350℃를 초과하지 않아야 한다.

13) 절연유시험

절연유의 상태를 알기 위해 동점도, 전산가, 함유수분, 절연파괴전압, 유전정접의 종합시험 전/후에 절연유를 채취하여 유중가스 분석을 실시한다.

가) 특성시험

변압기에 주입된 절연유를 채취하여 특성시험을 실시하며, 그 판정

기준은 다음과 같다. 절연유의 채취는 종합시험 후 실시한다.

항 목	판정기준
동 점 도 [mm ² /s] 40℃	36~44
전 산 가 [mg · KOH/g]	0.01 이하
합 유 수 분 [ppm]	25 이하
절연과괴전압 [kV/2.5mm]	50 이상
유 전 정 접 90℃	0.001 이하

나)유중가스 분석

변압기의 종합시험 전/후 절연유를 채취하여 유중가스 분석을 실시하며 그 판정 기준은 다음과 같다.

유중가스	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2
기준(ppm)	200	100	1	30	30	3,000	30,000

※ IEEE C57.146 (Interpretation of gases generated in SILICON-Immersed Transformer)

14) 소음시험

변압기 무부하에서 정격주파수의 정격전압으로 여자 할 때 연속적으로 발생하는 소음의 정도를 측정하기 위한 시험이다.(측정치는 참고치로 관리한다)

4.2.3 검사방식과 품질 합격수준

4.2.3.1 검사방식

- 1) 겉모양검사 및 치수검사는 전수검사 한다.
- 2) 4.2.2의 7)~8)항, 11)~12)항, 14)항은 1회 발주분을 1로트로 1대를 발취하여 검사하며, 최근 3년 이내에 철도공사와 계약되어 시험한 공인기관시험 성적서가 있을 경우 시험을 면제할 수 있다. 다만, 성능에 영향을 주는 설계 변경이 있을 경우 시험하여야 한다.

4.2.3.1 품질 합격수준

외관검사, 치수검사 및 각종 시험결과가 본 규격에 적합할 때 합격으로 한다.

4.2.4 부품시험

4.2.4.1 냉각기

1) 시험의 구분

항 목	형식시험	전수시험	비 고
치수 및 외관검사	○	○	
압력 및 누기검사	○	○	
냉각성능시험	○	-	

2) 검사 및 시험방법

가) 치수검사

철도공사 도면에 의거 각부의 치수를 확인한다.

나) 결모양검사

검사자의 육안으로 bending 작업 시 발생하는 찌그러짐 및 뒤 틀림, fin은 wave 현상과 용접 작업 시 발생하는 결함 등을 육안 및 PT 검사를 이용하여 확인한다.

- 판정기준 : 외관상태와 용접부위는 사상작업을 실시하여 미려해야 하고, 용접 결함이 없어야 하며, 취부 작업 시 문제점이 없어야 한다. 또한 fin은 wave 현상이 없이 일정한 간격이 유지되어야 한다.

다) 압력 및 누기검사

냉각기에 질소가스 4kg/cm²를 충전 하여 4시간 동안 유지하여 누기가 없어야 한다.

라) 냉각성능시험

시험장치의 구성은 냉각기, 유오일펌프, 파이프 라인, 냉각팬, 에어덕트(air duct) 및 절연유 탱크로 구성된다. 성능시험 시 사용되는 절연유는 일반 광유를 이용하며, 측정된 값들은 실리콘오일 이용 조건의 값으로 환산하여 비교 판정한다.

냉각기의 정격용량인 200kW로 가열된 절연유 탱크의 절연유가 유펌프를 통하여 일정한 온도 및 유량으로 냉각기로 유입되며, 냉각기의 튜브핀과 연결된 덕트를 통하여 일정한 온도 및 유속으로 냉각공기가 유입된다. 각각의 절연유 및 냉각공기는 튜브핀부에서 열교환이 일어나며, 온도상승된 각각의 절연유 및 공기가 냉각기 출구 및 덕트출구로 분출되며, 이때 절연유 및 공기의 입출구 압력 등을 측정 한다.

시험에 대한 상세 절차 및 시험회로도 는 다음과 같다.

① 온도측정

온도측정은 온도센서를 이용하여 측정부가 외기온도에 대한 온도상승 값이 ±0.5℃ 내로 일정하게 유지되어 포화될 때의 값으로 한다. 온도 측정부 및 판정기준은 아래와 같다.

온도측정부	판정기준
냉각기의 오일 입구부	실리콘 오일조건으로 환산시 : 입구온도 110℃일때 출구온도는 103.1℃ 이하
냉각기의 오일 출구부	
냉각공기 입구부	실리콘 오일조건으로 환산시 : 입구온도 25℃일때 출구온도는 91.5℃ 이상
냉각공기 출구부	

② 압력측정

압력계를 이용하여 오일 및 공기가 흐르는 냉각기 양단의 압력을 측정하여 압력차를 구하며 측정값을 기록한다. 압력 측정부 및 판정기준은 아래와 같다.

압력측정부	판정기준
냉각기의 오일 입구부	실리콘 오일조건으로 환산시 : 입구 및 출구측의 압력손실이 80kPa 이하
냉각기의 오일 출구부	
냉각공기 입구부	실리콘 오일조건으로 환산시 : 입구 및 출구측의 압력손실이 1.2 kPa 이하
냉각공기 출구부	

③ 유량측정

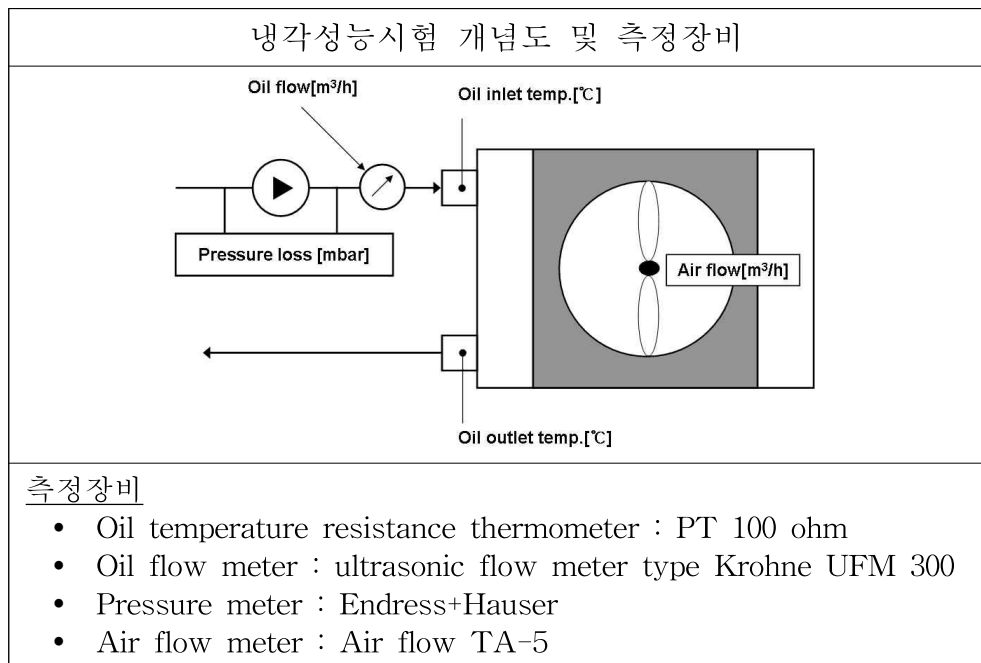
유량계를 이용하여 냉각기 튜브로 유입되는 절연유의 유량을 측정하여 기록하며, 실리콘 오일조건으로 환산시 75 m³/h 이상이어야 한다.

④ 냉각공기 유량측정

풍속계를 이용하여 덕트 입구의 유속을 측정하며, 덕트 면적의 곱으로 냉각공기의 유량을 계산하여 기록하며, 실리콘 오일조건으로 환산 시 9,720 m³/h 이상이어야 한다.

⑤ 냉각용량 계산

냉각기 오일 양단(입출구)의 온도차와 오일유동량으로부터 냉각기의 냉각용량을 계산하며, 실리콘오일의 물성치로 환산한 작동조건과 비교한다.



	보증치	합격기준	비 고
냉각용량	200 kW	냉각용량 ≥ 200 kW	

4.2.4.2 냉각송풍기

1) 시험의 구분

항 목	형식시험	전수시험	비고
구조 및 결모양검사	○	○	
회전속도 및 전류 측정	○	○	
풍압시험(Aeraulic test)	○		
소음시험(Acoustic test)	○		
모터 온도상승 시험	○		
충격 및 진동시험	○		
중량 측정	○		
기동시간 측정	○		

2) 검사 및 시험방법

가) 구조 및 결모양 검사

구조 및 결모양검사는 도면을 기준으로 육안으로 검사하여 사용상 유해한 결점이 없어야 하며, 주어진 기준 허용공차 및 일반공차 범위 내에서 냉각팬과 변압기의 조립가능여부 판단을 위한 치수검사를 수행한다.

나) 풍압 시험(Aeraulic test)

ISO 5801 규격에 따라 팬의 출구(fan outlet)는 덕트 측으로 부착되며, 공기 입구(air inlet)측은 개방된다.

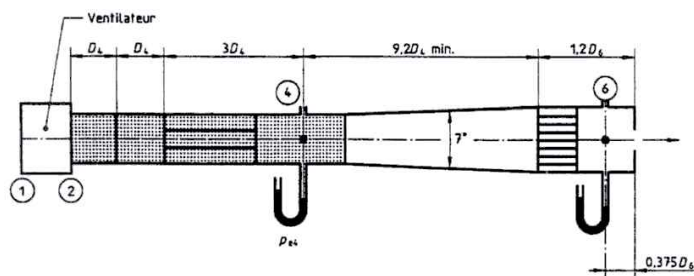
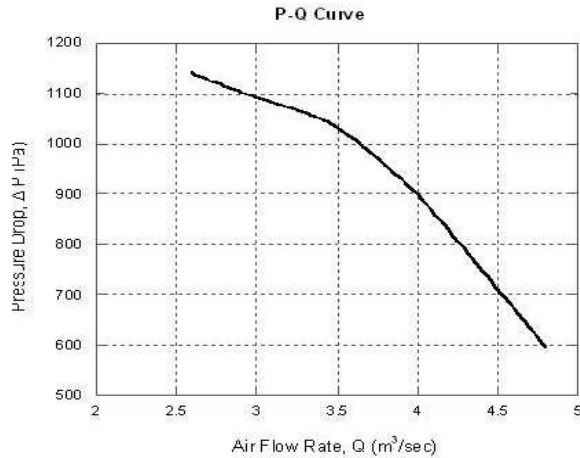


그림) 시험 레이아웃

터널 출구의 압력변화는 오리피스 판(orifice plate)에 의해 조정되며, 이 시험을 통하여 정격 회전속도에서 그림과 같은 특성커브를 구할 수 있다.

팬의 성능특성 커브로부터 정상 작동점(nominal operating point)이 커브위에 표시되며, 측정치에 대한 합격기준은 다음과 같다.

- 풍량 : 정격 풍량($3.3 \text{ m}^3/\text{s}$)의 $\pm 5\%$
- 압력 : 정격 압력($1,014 \text{ Pa}$)의 $\pm 10\%$



<팬의 성능 특성 곡선>

라) 소음시험

시험 레이아웃은 풍압 시험과 동일하며, 실제 운전 조건과 가장 근접한 조건으로 오리피스 판(orifice plate)을 조정한다. ISO 13347-3 규격에 따라, 입구의 세 지점(그림 3,5,6번 지점)에서 소음레벨이 측정된다. 측정된 세 지점의 평균치로 소음압력레벨(sound pressure level L_p)이 결정이 되고, 소음파워레벨(sound power level L_w)이 계산되며, 합격기준은 다음과 같다.

- 측정치 < 94dB

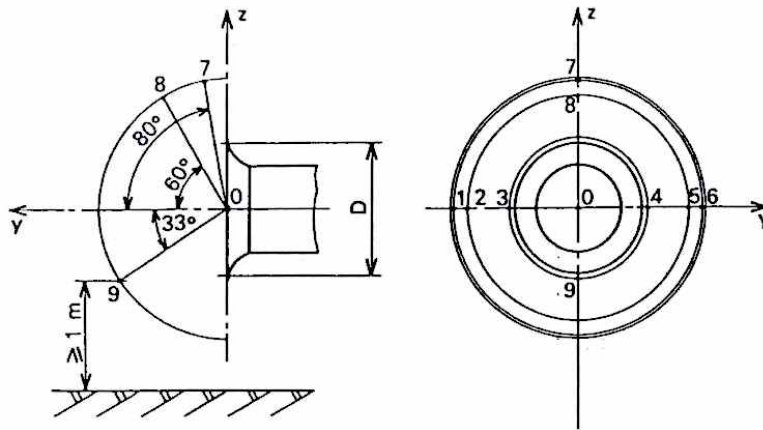


그림) 소음측정 계획

마) 모터 온도상승 시험

시험 레이아웃은 이전 시험과 동일하며, 실제 운전 조건과 가장 근접한 조건으로 오리피스 판(orifice plate)을 조정하며, 정격 전압 및 주파수의 전원이 인버터를 통해 모터로 공급된다.

다섯 개의 열전대의 양측 엔드실드(end shield), 권선의 양측 사이드 및 하우징에 설치되며, IEC 60349-2에 따라서 권선온도상승(저항법)

및 각 열전대의 최고 온도가 측정되며, 합격기준은 다음과 같다.

- 권선온도상승 (Temperature rise) < 허용온도상승 (180K)
- 각 열전대 최고온도 - 주위온도 + 최고주위온도 < 모터내열등급-10℃

바) 충격 및 진동시험

냉각송풍기의 충격 및 진동시험은 실제 사용 시와 동일하게 시험대에 설치되며, 시험은 IEC61373에 따른다.

사) 중량 측정

냉각송풍기의 완성 중량을 측정하여 157kg± 5% 이어야 한다.

아) 기동시간 측정 (참고시험)

냉각송풍기의 모터 차단기 용량 선정을 위한 시험으로 냉각팬 기동 시 기동전류가 안정화될 때까지의 기동시간을 측정한다.

4.2.4.3 오일펌프

1) 시험의 구분

항 목		형식시험	전수시험	비 고
겉모양검사		○	○	
절연내력 및 절연저항시험		○	○	
권선저항 측정		○	○	
특성시험	무부하시험	○	○	
	부하시험	○	-	
정격온도상승시험		○	-	
과속도시험		○	-	
누설시험		○	○	
성능시험		○	-	
기동시험		○	-	
중량측정		○	-	

2) 검사 및 시험방법

가) 겉모양검사

주요치수 및 볼트류의 체결, 도장, 표면처리 상태 등을 승인도면에 따라 검사한다.

나) 절연내력 및 절연저항시험

① 절연내력시험

권선과 프레임 사이에 AC 2500 V를 1분간 인가했을 때 이상이 없어야 한다.

② 절연저항 측정

권선과 프레임 사이를 1000V 메가로 절연저항을 측정하여 50MΩ 이상이어야 한다.

다) 권선저항측정

각 권선의 권선저항을 측정하여 85℃로 환산하여 기록한다.

라) 특성시험

① 무부하시험

정격주파수에서 정격전압을 인가하고, 무부하 운전할 때의 전류 및 입력력을 측정한다.

② 부하시험

정격전압, 정격주파수에서 정격출력에 대하여 입력전류, 회전수 및 역률을 측정한다.

마) 정격온도상승시험

전동기 및 오일펌프를 직결하여 유류상태에서 정격전압, 정격주파수, 정격부하로 각 부의 온도가 일정하게 될 때까지 운전하여 각부의 온도상승을 측정한다.

바) 과속도시험

정격주파수에 대한 동기속도의 120% 속도로 1분간 운전하여 이상이 없어야 한다.

사) 누설시험

80℃의 실리콘 유에서 5bar의 압력을 3시간 가하여 외부로의 오일 누설이 없어야 한다.

아) 성능시험

정격전압, 정격주파수 및 유온(80℃)에서 유량 및 양정을 측정하여 기준 정격치 이상이어야 한다. (유량 : 75m³/h, 양정 : 11.3m±10%)

자) 기동시험

정격주파수 및 정격 유량에서 기동시험을 실시한다.
396V 이하에서 기동이 가능해야 한다.

차) 중량측정

완성품의 중량을 측정하여 46kg±5% 이어야 한다.

5. 하자보증

5.1 하자보증기간은 납품일로 부터 3년으로 하며 하자보증율은 3/100으로 한다.

5.2 하자보증기간에 관계없이 설계, 재료, 제작상의 결함 등으로 고장이 발생했을 경우 계약자는 최단 시간 내에 무상으로 수리 또는 대체하여 정상적인 기능을 확보 하여야 한다.

5.3 하자기간 내 발생한 불량개소가 설계, 제작 등의 결함으로 전량을 수리 또는 교체한 경우 하자보증 기간이 재개된다.

6. 기타사항

6.1 계약자는 납품시 유지보수 매뉴얼을 제출하여야 한다. 다만 공사에 기 제공한 경우는 예외로 한다.

6.2 납품후 유지보수 내용이 변경된 경우 매뉴얼을 수정하여 전체 또는 변경부분을 재 제출하여야 한다.

6.3 시험의 면제

철도공사에서 운용중인 차량에 기 적용하여 성능과 신뢰성이 증명된 부품에 대하여는 형식시험 중 공인기관 시험을 면제할 수 있다. 이 경우 계약자는 실적 및 신뢰성에 대한 입증 자료(시험 성적서)를 제출하여야 한다.

7. 포장 및 표시

7.1 포장재료

7.1.1 내부 : 비닐 및 완충재

7.1.2 외부 : 목재 등

7.2 포장방법

비닐로 방습포장 후 상자에 넣어 운반 및 보관 중 손상되지 않도록 견고하게 포장한다.

7.3 표 시

7.3.1 제품표시

제품표면 사용상 지장이 없는 곳에 제조회사명 또는 약호, 품명, 제조번호, 제작년월, 자재번호, 정격(해당품목만)을 각인한 명판(각인 불가능시 스티커)을 리벳팅 등으로 견고히 부착하여야 한다.

(표시는 제품수명 기간 안 보존될 수 있도록 하여야 한다.)

7.3.2 포장표시

외부포장 표면에 품명, 제작년월, 제조회사명 또는 약호, 자재번호, 상하표시, 취급상 주의 등을 표기한다.