

* 색 ㉔

13포인트 고딕체 역상

TR.0000.S2022.0000

송배전설비 내진설계 인정시험 지침서

국한문혼용 26포인트 신명조체

22포인트 신명조체 가늘게

Practice for seismic qualification test based on earthquake resistant design
of transmission, substation and distribution facilities

18포인트 신명조체
(글자수 따라 조정)

영문 15포인트 신명조체

2022. 11.

22포인트 고딕체

CIP 30포인트

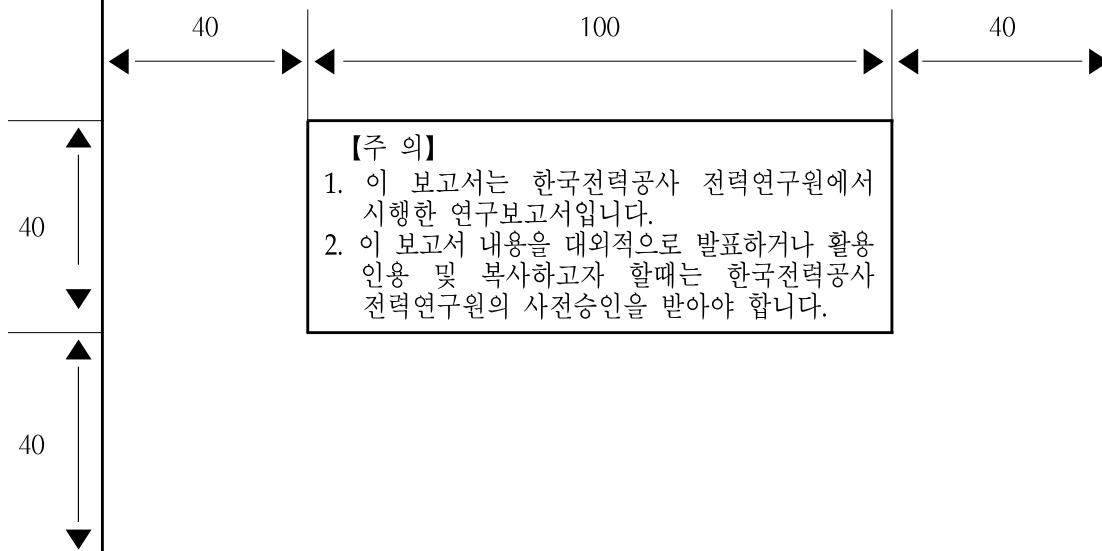
한국전력공사 전력연구원

수행부서명, 28포인트, 신명조체

20포인트 CIP체

* 바탕색 : 백색

※ 앞표지 이면 구성규격(mm)



본 지침서는 지진으로부터 송배전설비의 안전을 확보하고 양질의 전력을 공급하기 위하여 송배전설비 내진 설계검토 및 인정시험 등에 대한 세부기준을 규정하고 있다.

본 지침서는 송배전설비 내진설계 인정시험 항목에 적용되며 아래의 책임 있는 관리자에 의해 검토·승인된다.

작성자	직위	책임연구원 선임연구원	성명	황경민 전낙현	작성일	
-----	----	----------------	----	------------	-----	--

검토자	직위	구조내진연구실장	성명	연관희	검토일	
-----	----	----------	----	-----	-----	--

승인자	직위	차세대송변전연구소장	성명	한기선	승인일	
-----	----	------------	----	-----	-----	--

목 차

제 1 절 목 적	1
제 2 절 적용 범위 및 개요	1
제 3 절 책임과 권한	1
제 4 절 일반 사항	1
제 5 절 시험검증 레벨의 선택	2
제 6 절 지지구조물	7
제 7 절 앵커링	7
제 8 절 진동대 장비	8
제 9 절 설치 시 고려사항	8
제 10 절 시험 입력 진동	9
제 11 절 시험 검증 방법	9
제 12 절 허용 기준	11
제 13 절 시험 절차	15
제 14 절 시험 검증 준비	16
제 15 절 이상징후 발견 시 조치사항	16
제 16 절 시험결과 보고	16
APPENDIX A. 계전기	19
APPENDIX B. 가스절연개폐장치	25
APPENDIX C. 변압기	30
APPENDIX D. 해석보고서	34

1. 목 적

본 지침서는 송배전설비 내진 설계검토 및 인정시험 등에 대한 세부기준을 제시함으로써 해석 결과 및 진동대 장비를 활용하여 실시하는 시험결과에 대한 품질보증 및 고객의 신뢰도를 향상시키고자 하는데 그 목적이 있다.

2. 적용 범위 및 개요

본 지침서는 내진 설계검토 및 진동대를 이용한 22.9kV급 이상의 **송전, 변전 설비**에 속한 기기 및 구조물의 **내진검증**에 적용한다. 본 지침서는 ‘송배전설비 내진설계기준 (DS-0050)’ 및 ‘송배전설비 내진설계 실무지침서’에 제시된 최신 기준을 기반으로 하고 있고 IEEE Std 693 등의 방법 및 절차를 일부 준용하였다. **본 지침서에** 언급되지 않은 내용은 DS-0050이나 공인된 기관에 의해 제시된 최신기준을 준용 할 수 있다.

한편, 제작사에 의해 제안된 판정기준은 한전 전력연구원(이하 “사용자”) 또는 한전 전력연구원의 대리인(이하 “대리인”)에 의해 허용되어야 한다.

3. 책임과 권한

3.1 기술책임자

시험기준과의 일치성, 적합성 확인

3.2 실무자

품질지침서 작성

4. 일반 사항

4.1 사용자 또는 **DS-0050 KOLAS 인증표준 획득기관**(이하 “시험기관”)은 제작사에 내진성능수준과 허용기준을 제공한다. 시험**설비**의 유형(식별정보 등)은 명시되어야 하며 이름은 **설비** 유형과 일치해야 한다.

4.2 사용자 또는 시험기관은 시험의 절차 및 내용을 제거하거나 추가할 수 없다.

4.3 제작사는 시험 시작일 30일 이전까지 시험 계획서를 시험기관에 제출해야 하며, 최종 완성된 피시험품에는 한전 자재처에서 배부한 관리번호가 입력된 피시험품 확인 위조방지 스티커 부착을 원칙으로 한다. 부득이하게 피시험품에 스티커를 부착할 수 없는 경우에는 한전 자재처와 협의하여야 한다. 이외의 사항은 “기자재공급자관리지침 14. 피시험품 제작 및 승인”에 따른다.

4.4 내진검증의 적정성을 판단하기 위해 인정시험과 관련한 내용을 의뢰 받은 시험기관의 내진 전문가가 참관인(witnesses)으로서 진동대 시험을 참관하여야 하며 참관인의 승인은 보고서에 포함되어야 한다. 사용자 또는 대리인은 필요한 경우 참관인으로서 참관 할 수 있다. 단, 참관인과 시험자가 동일인이어서는 안 된다.

4.5 신뢰성 있는 결과 값을 산출하기 위해 계측센서의 설치는 해석결과를 기반으로 응력 또는 증폭비 최대 값 등이 나타날 수 있는 위험부위 및 부싱 등 주요부위에 위치할 수 있도록 해야 한다.

5. 시험검증 레벨의 선택

이 방법은 대부분의 요구 사항을 포함해야하는 자격의 세 가지 수준(level)을 제공한다.

5.1 내진성능 검증 수준

- 1) 수행된 검증레벨은 내진성능의 자격수준으로 정의될 수 있다.
- 2) 내진성능 검증레벨은 붕괴방지수준, 즉시복구수준, 기능수행수준으로 구분된다.
- 3) 가속도 표준설계응답스펙트럼(RRS)은 수평방향에 대한 성분이다.
- 4) 수직방향 성분은 암반 지반의 경우 수평방향 RRS의 77%를 사용할 수 있다. 단, 토사 지반의 경우 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있고 수평방향 성분의 0.5배 이상이 되어야 한다.
- 5) 시험체가 설치될 구조체 또는 지반의 감쇠비를 알 수 없을 경우, 2%감쇠에 대한 RRS를 사용한다.
- 6) 본 지침서의 경우 수평 및 수직방향 RRS는 S1~S5의 경우를 모두 고려하여 주기별 가장 큰 가속도 만을 고려한 포락곡선을 고려하여 결정할 수 있다.

5.2 내진등급

5.2.1 송전, 변전 및 배전설비의 취급전압이 22.9kV 이상인 전기기기 및 구조물을 대상으로 아래와 같이 분류한다.

- 1) 핵심설비인 신설 765kV 급 송전 및 변전설비는 “내진특등급(붕괴방지 수준에서 4,800년 재현주기, 즉시복구 수준에서 500년 재현주기, 기능수행 수준에서 200년 재현주기)”으로 분류한다.
- 2) 핵심설비 중 기설 765kV 급 송전 및 변전설비와 중요설비인 22.9kV 급 이상 765kV 급 미만 송전 및 변전설비는 “내진특등급(붕괴방지 수준에서 2,400년 재현주기, 즉시복구 수준에서 500년 재현주기, 기능수행 수준에서 200년 재현주기)”으로 분류한다.
- 3) 그 외에 배전설비 등 22.9kV 급 이상 일반설비는 “내진 I 등급(붕괴방지 수준에서 1,000년 재현주기, 즉시복구 수준에서 200년 재현주기, 기능수행 수준에서 100년 재현주기)”으로 분류한다.
- 4) 송배전 설비의 내진등급 별 내진성능수준은 표 5.1과 같다. 분류에 필요한 기타 세부사항은 “송배전설비 내진설계 실무지침서”를 준용한다.

표 5.1 송배전 설비의 내진등급 별 내진성능수준

내진성능 수준	기능수행		즉시복구		붕괴방지		
내진등급	I 등급	특등급	I 등급	특등급	I 등급	특등급	특등급
대상설비	일반	중요, 핵심	일반	중요, 핵심	일반	중요	핵심
재현주기	100년	200년	200년	500년	1,000년	2,400년	4,800년

5.3 지반의 분류

- 1) 검증레벨을 결정하는 파라미터중 지반은 표 5.2와 같이 6종으로 분류한다.
- 2) 토층의 평균 전단파속도($V_{s, soil}$)는 탄성파시험 결과가 있을 경우 이를 우선적으로 적용한다.

표 5.2 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,soil}$ (m/s)
S_1	암반 지반	1 미만	-
S_2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S_3	얕고 연약한 지반		260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반		180 미만
S_6	부지고유의 특성 평가가 요구되는 지반		

5.4 유효수평지반가속도(S)

- 1) 검증레벨을 결정하는 파라미터중 유효수평지반가속도(S)는 위험도계수(I)에 행정구역을 기준으로 제시된 지진구역계수(Z)를 곱하여 계산하거나 행정안전부장관이 정한 국가지진위험지도를 활용한 유효수평지반가속도로 평가할 수 있다.
- 2) 행정구역을 기준으로 제시된 지진구역계수(Z)는 우리나라의 행정구역별로 2개의 구역으로 구분하여 서로 다른 값을 적용하며 지진재해도 해석 결과에 근거하여 우리나라는 표 5.3과 같이 두 개의 지진구역으로 설정한다.

표 5.3 지진구역의 구분 및 지진구역계수(평균재현주기 500년에 해당)

지진 구역	행정구역		지진구역 계수(Z)
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시, 세종특별자치시	0.11g
	도	경기도, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도, 강원도 남부 ^{주1)}	
II	도	강원도 북부 ^{주2)} , 제주도	0.07g

주1) 강원도 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백

주2) 강원도 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

- 3) 평균재현주기별 위험도계수 I는 표 5.4와 같다.

표 5.4 위험도계수

평균재현주기(년)	100	200	500	1,000	2,400	4,800
위험도계수, I	0.57	0.73	1	1.4	2.0	2.6

- 4) 행정안전부장관이 정한 국가지진위험지도를 이용하여 결정한 유효수평지반가속도(S)는 행정구역에 의한 방법으로 결정된 유효수평지반가속도(S) 값의 80% 보다 작지 않아야 한다.

5.5 성능 검증 응답스펙트럼

- 1) 암반지반에 해당하는 S_1 지반의 스펙트럼가속도(S_a)는 유효수평지반가속도(S)에 따라 그림 5.1과 같이 결정한다.
- 2) 토사지반에 해당하는 $S_2 \sim S_5$ 지반의 스펙트럼가속도(S_a)는 그림 5.2와 같이 결정한다.

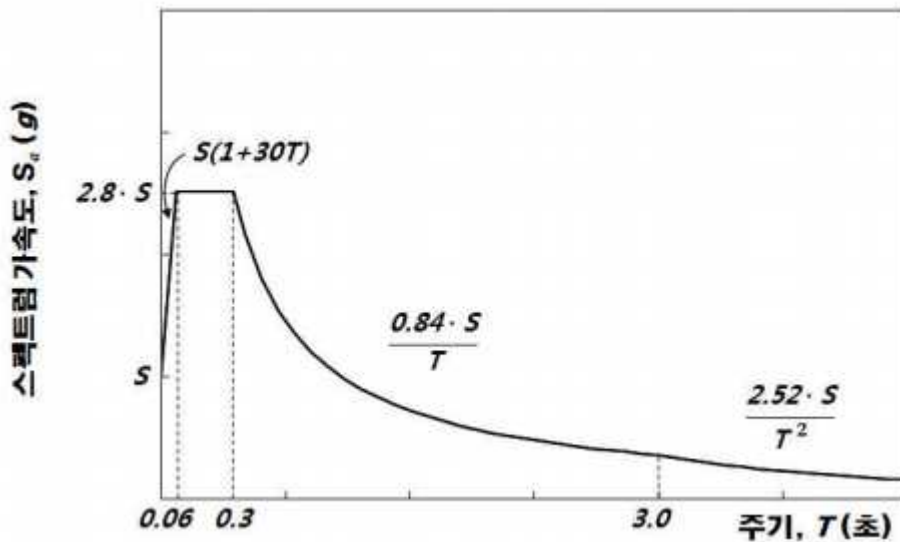


그림 5.1 암반지반 수평방향 가속도 요구응답스펙트럼(5% 감쇠)

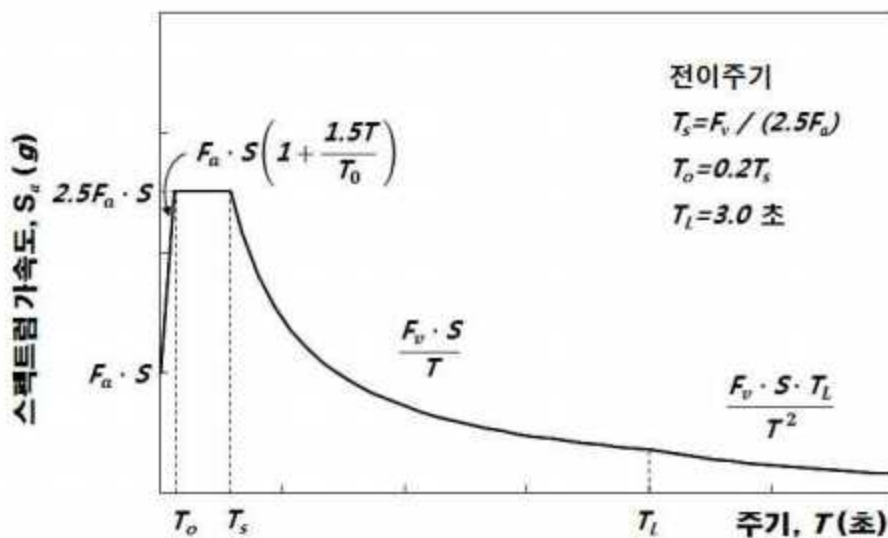


그림 5.2 토사지반 수평방향 가속도 요구응답스펙트럼(5% 감쇠)

표 5.5 지반증폭계수(F_a , F_v)

지반분류	단주기 증폭계수, F_a			장주기 증폭계수, F_v		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S_4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S_5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

- 3) 유효수평지반가속도(S)에 따라 지반증폭계수(단주기 지반증폭계수 F_a , 장주기 지반증폭계수 F_v)는 표 5.5를 이용하여 결정한다. 유효수평지반가속도(S)의 값이 사잇값에 해당할 경우 직선보간하여 결정한다.
- 4) 그림 5.1과 그림 5.2에 정의된 요구응답스펙트럼은 5% 감쇠비에 대하여 정의된 값으로서 5% 이외의 감쇠비를 갖는 설비의 내진성능 검증시에는 “송배전설비 내진 설계 실무지침서”에서 제시하는 절차에 따라 수정하여 사용한다.
- 5) 토사지반의 가속도시간이력은 기반암에 대해 작성된 가속도시간이력을 사용하여 지반 응답해석을 통해 결정한다.

6. 지지구조물(support structure)

지지구조물은 계전기 등을 시험하기 위해 사용하는 고정체 등을 의미한다. 시험을 수행함에 있어서 지지된 설비의 거동에 큰 영향을 미친다. 지지구조물에 지지된 설비의 가속도 응답은 지반가속도에 대하여 수배이상 증폭될 수 있다. 시험을 진행하기 위하여 지지구조물과 설비는 실제 설치 및 서비스되는 것과 동일한 방식으로 제작하는 것이 바람직하다. 그러나 다음과 같은 이유에 대해서는 실제 설치조건과 동일하지 않을 수 있다.

- 1) 설비가 다양한 형태의 지지구조물에 장착될 경우
- 2) 기존의 지지구조물 : 설비의 내진검증에서 사용되는 것과 다른 지지구조물이 존재할 경우, 즉 검증에 사용되는 지지구조물이 사용자에 의해 사용되는 것과 다른 경우
- 3) 지지 높이를 모르는 경우
- 4) 성능이 향상된 지지구조물을 사용할 예정인 경우
- 5) 설비의 높이문제로 시험시설에서 시험하기 어려울 경우

6.1 기존 지지구조물의 변경(Modifying existing qualified support)

- 1) 시험기관이 기존에 검증되어 사용되고 있는 지지구조물과 상이한 지지구조물에 설비를 설치 하고자 할 때, 사용되는 지지구조물의 성능이 기존에 사용 된 것과 동등하거나 보다 양호하다면, 기존의 검증자격이 허용 될 수 있다.
- 2) 시험기관이 기존에 사용 자격 이외의 지지구조물 상에 사전에 검증된 설비를 설치 하고자하는 경우, 시험기관은 동적으로 동등하거나 더 나은 지지구조물을 사용하는 것에 대해 사용자에게 시험 전에 알려야 하며 이에 대한 승인 서명을 보고서에 포함시켜야 한다.

7. 앵커링(Anchorage)

- 1) 사용자에게 의해 승인된 도면을 기반으로 앵커링을 적절히 모사하여야한다
- 2) 콘크리트 등을 모사하기 어려운 경우 ACI 318를 기반으로 BSLS를 제출하여야 한다.
- 3) 용접 또는 볼트 사용의 선택은 제품을 공급하는 제작사의 책임이다.
- 4) 제작사는 설비가 설치되는 위치에 예상되는 지진하중을 명시하여야 한다.
- 5) 볼트가 사용되는 경우 크기, 강도, 위치, 재료가 제작사의 설치도면에 표시 되어야 한다.

8. 진동대 장비

본 방법의 시험을 위한 최소요구사항은 다음과 같다.

- 1) 2축 또는 3축 진동대 장비여야 한다.
- 2) **설비 및 기초부**의 중량이 진동대의 용량을 초과하지 않도록 한다.
- 3) 진동대 장비는 수평 두 방향과 수직방향에 대하여 최소한 1Hz 이상의 공진을 식별할 수 있어야 한다.
- 4) 진동대 제어장비가 본 절차에서 요구하는 모든 테스트를 수행할 수 있어야 한다.
- 5) 시험기관의 담당자는 본 절차에 의한 시험경험이 있어야 한다.
- 6) 시험기관은 본 절차에서 요구하는 **데이터 및 결과**를 생성할 수 있어야 한다.

9. 설치 시 고려사항

9.1 일반사항

- 1) 설치 매개변수는 지진시험 시 응답 및 설비에 상당한 영향을 미칠 수 있다.
- 2) 설비의 설치와 관련한 일부 매개변수는 지진시험 시 설비거동에 영향을 미칠 수 있다.
- 3) 설치 매개변수는 지진시험 시 설비 응답을 증폭 또는 감쇄 시킬 수 있다.
- 4) 중요 설치 매개변수는 설비의 조립(equipment assembly), 지역 응답특성(site response characteristics), SSI(soil-structure interaction), 지지 구조물(support structure), 면진(base isolation), 정지 설비(suspended equipment), 앵커리지(anchorage) 및 conductor loading등을 포함한다.
- 5) 진동대 설치 시 실제 설치(서비스)와 동일하거나 충분히 모사할 수 있어야 한다

9.2 설비의 조립

- 1) 설비의 내진 성능을 효과적으로 구현하기 위하여 설비 제작사의 지침에 따라 구성요소들을 적절히 조립하는 것이 중요하다. (예: 요구 토크 수준의 볼트토크, 권장사항에 따른 앵커링, 절연체에 도체 부하를 최소화하는 구성 요소 등이 제대로 설치되도록 보장).
- 2) 이에 대한 서술/설명은 제작사의 도면에 포함되어야 한다.
- 3) 설비의 조립은 **제작사의 책임하에 품질을 확보하여야 하고**, 시험기관에서는 진동대 위에 시험대상 설비를 설치 시 주의한다.

10. 시험 입력 진동 (IEEE Std. 693, A1.2.2.1 등 참조)

- 1) 진동지속시간 : 30초 이상
- 2) 강진지속시간 : 20초 이상
- 3) 이론적 입력파(Theoretical input motion)는 1/24 옥타브 이상의 분해능을 가지며 2% damping RRS에 대하여 10% 오차 이내일 것.
- 4) 이론적 입력파의 filter한계 - 시료의 최저 주파수의 70%이하부터 필터링 가능.
- 5) Filtered 이론적 입력파의 조건
 - (1) 1/12 octave 간격으로 RRS가 표현되어야 한다.
 - (2) -5~+30%의 오차를 가질 것.
 - (3) 양의 오차 최대값은 제작사의 동의가 필요, 단 15Hz 이상의 주파수에서 공진주파수가 없을 때, 오차가 30%이상도 허용된다.
 - (4) 음의 오차 발생시 RRS이하의 발생 개수는 5점 이하이며, 해당 지역의 주파수 중심지역에서부터 12%이상 음의 값을 유지하지 않을 것.
- 6) 계측입력파(Table output motion)
 - (1) 1/12 octave로 표현할 때, RRS에 대하여 -10~+50%의 오차를 가질 것.
 - (2) 양의 오차 최대값은 제작사의 동의가 필요, 단 15Hz 이상의 주파수에서 공진주파수가 없을 때, 오차가 30%이상도 허용된다.

11. 시험 검증 방법(Qualification testing methods)

11.1 일반사항

- 1) TRS는 RRS를 포락해야 하고 시험성적서에 세부내용을 기술 할 것
- 2) 진동대 설치 시 실제 설치(서비스)와 동일해야 하며 strain bolt를 이용하여 앵커의 응력을 측정할 것을 권장한다.
- 3) 진동대 시험은 3축을 권장한다.
 - (1) 2축 시험의 경우 각각의 서로 다른 방향(방위)에 대해서 다수의 시험이 요구된다.
 - (2) 따라서 3축 진동대를 이용한 시험을 권장한다.
 - (3) 국내 시험장비의 한계 등 특수한 경우에 한해 사용자와의 협의로 2축 시험을 우선시 할 수 있다.
- 4) 공진탐색시험은 공진주파수와 감쇠비를 찾기 위하여 수행한다.
- 5) 시험 전과 후의 공진주파수의 차이가 20%이상일 경우 손상에 대한 중요 신호로

보고 심층적으로 조사해야 한다. 단, 이 차이가 바로 불합격을 의미 하는건 아니다.

6) 감쇠비(damping ratio)는 2%

7) 2기 이상의 영상촬영장비를 이용하여 서로 다른 시점에서 촬영을 권장한다. 단, 계전기 등은 1기 이상의 장비 이용이 가능하다.

11.2 TRS의 RRS포락 조건(IEEE Std. 693, A1.2.2.1 등 참조)

1) 과도한 입력지진에 의한 시험(Over-testing)을 방지하기 위해 아래와 같은 사항에 대하여 TRS가 RRS보다 다소 작은 일부 값(처짐점)을 허용한다.

(1) 처짐점이 RRS의 -10% (90%)이내 일 때,

(2) 가장 작은 처짐점의 주파수를 기준으로 $\pm 12\%$ 구간에 RRS보다 작은 점이 없을 때 (예: 10Hz에서 처진 점이 있을 때, 8.8Hz ~ 11.2Hz구간에 추가로 RRS를 만족하지 못하는 점이 없을 경우),

(3) 이러한 처짐 점은 5개까지 허용한다.

2) TRS가 RRS를 포락함에 있어서 모든 공진주파수가 33Hz를 초과할 경우 1Hz이하는 포락하지 않아도 되며, 가장 낮은 공진주파수의 0.75배 이하의 주파수 또한 반드시 포락하지 않아도 허용한다. (예 : 가장 낮은 공진주파수가 4Hz일 때, $4\text{Hz} \times 0.75 = 3\text{Hz}$, 이므로 3Hz이하는 반드시 포락하지 않아도 된다.)

11.4 감쇠비(damping ratio)의 계산

1) 감쇠비는 이론적으로 그 신뢰성을 담보할 수 있는 합리적인 방법으로 산출되어야 하며, 다중모드의 연성효과(Coupling effect for multimode system)나 신호 노이즈 영향을 고려하여야 한다.

2) 산출 시 아래의 방법 또는 공인된 최신 기법을 참조하여 계산할 수 있다. 단, 아래 3가지 방법을 이용한 감쇠비 값이 20%이상 차이 나는 경우 (1)의 방법을 우선시 한다.

(1) Stochastic Subspace Identification method

(2) Logarithmic decrement method

(3) Half-power bandwidth

11.5 공진 주파수 탐색 시험 (Resonant frequency search test)

1) Sine sweep test는 1 octave/min. 이하의 속도로 수행되어야 한다. 1Hz 이상의 주파수 영역을 고려하여야 하고 최소 33Hz 이상의 주파수를 고려하여야 한다. 최대 주파수의 결정은 시험기관과 제작사 간의 합의로 결정한다. 시험 진폭의 크기는 0.05g 이상 이어야 하며 0.1g의 진폭이 권장된다.

- 2) **Random noise test**는 **0.25g 이상의 입력 진폭** 진폭이 권장된다.
- 3) 시험대상 설비의 특수성으로 인해 별도의 입력 진폭을 결정할 필요성이 있는 경우 사용자의 승인을 얻어 설비의 동특성이 충분히 발현될 수 있도록 입력 진폭을 결정할 수 있다.
- 4) 시험 전과 후의 공진 주파수가 20% 이상 오차가 발생한 경우, 구조적 변화를 면밀히 검토하여야 한다.

11.6 시간이력 시험(Time history shake table test)

시간이력 시험(Time history test)은 10절에서 결정 및 작성된 인공지진파를 이용하여 진동대 시험을 수행하여야 한다.

11.7 기능검사 (Functional test)

- 1) 진동대 시험 전과 후에 시험체의 주요기능이 이상 없이 작동하는 지를 확인해야 한다.
- 2) 시험기관의 상황이 여의치 않을 경우 제작사의 공장이나 대리인의 시험실에서 기능검사를 수행할 수 있다. 단, 예기치 못한 상황이나 시험장비의 한계로 인해 기능검사가 어려운 경우 사용자의 승인을 얻어 대체방법을 결정 할 수 있다.

12. 허용 기준(Acceptance criteria)

송배전설비 내진설계 실무지침서에 따른 허용기준은 아래와 같이 적용하며 본 지침서에 명시되지 않은 사항의 경우 다른 공인된 표준 또는 기준에 따라 산정할 수 있다. 또한, 송배전설비의 기능수행 및 붕괴방지수준에 대한 허용기준은 필요시 각 구성품들의 재료에 따라 공인된 표준 또는 기준을 참조할 수 있다.

- 1) 기능수행수준의 경우 모든 구조요소는 탄성 거동을 하고 설비에 영구변형, 좌굴 및 균열이 발생하지 않아야 한다. 또한, 설비의 각 재료는 허용응력을 만족하여야 한다.
- 2) 붕괴방지수준의 경우 약간의 변형을 허용하나 이러한 변형이 설비의 파괴로 이어지지 않아야 한다. 설비에 발생한 약간의 변형이 설비의 파괴에 어떠한 영향을 미치는지 판단이 어려운 경우, 보수적으로 다음의 두 가지 접근방법을 활용할 수 있다.
 - ① 응답수정계수(R)을 사용하지 않는 경우 설비의 거동은 탄성영역으로 제한되며 허용기준은 항복응력(혹은 파괴하중)이다.
 - ② 응답수정계수를 사용하는 경우 설비의 각 재

료는 허용응력을 만족하여야 한다.

3) 강재와 같은 연성구조부재의 허용기준은 ASME Section VIII, Division 2, part 5를 따른다. ASME Section VIII, Division 2, part 5는 Class 2 압력용기에 대한 해석에 의한 설계방법을 명시한 기준으로 허용응력(S)는 ASME Section II, Part D에 따라 인장강도와 항복강도에 대하여 2.4와 1.5의 안전율 확보하도록 하고 있다. 1) - 2) 항을 고려하면 성능수준에 따른 연성구조부재의 허용기준은 표 12.1과 같다. 표 12.1에서 1.5S는 ASME Section VIII, Division 2, part 5에서 요구하는 응력구분과 응력선형화를 통하여 응력을 평가하는 경우 허용할 수 있는 허용응력의 최대치를 의미한다.

표 12.1 연성구조부재의 성능수준에 따른 허용기준

구 분	기능수행 수준	붕괴방지 수준	비 고
R=1	S (1.5S)	f_y	$S = \min\left(\frac{2}{3}f_y, \frac{1}{2.4}f_u\right)$
R>1		S (1.5S)	

4) 해석 및 실험을 통하여 설비의 안전성을 판단하는 경우 주로 응력을 기반으로 평가를 수행함으로 ASD(Allowable Stress Design) 하중조합을 사용하여야 한다. ASD 하중조합은 ASCE 7 혹은 ASME Section VIII, Division 2, part 5를 따를 수 있다. ASCE 7의 ASD하중 조합은 다음과 같다.

$$U=1.0D+0.75(0.7E)+0.75L+0.75S$$

$$U=0.6D+0.7E \text{ (상향 지진하중의 영향 고려)}$$

$$U=1.0D+0.7E$$

5) 모든 절연부재(Insulating components)와 그 단부에서는 균열(Crack), 미끄러짐(Slip), 누출(Leak) 등과 같은 파괴가 없어야하며 허용기준은 절연부재의 종류에 따라 아래 기준을 만족하여야 한다.

Composite hollow insulator의 경우는 관련기준(DS-0050, IEC 61462 등)에 의하여 기능수행에서 허용기준은 MML(maximum mechanical load), 붕괴방지수준에서는 1.5MML (R>1인 경우는 MML)이 된다.

세라믹(Porcelain) 계열의 절연부재는 관련기준(DS-0050, IEC 62155 등)을 따라 허

용응력을 결정할 수 있다. 기능수행과 붕괴방지수준 모두 MFL(Mechanical failing load)을 활용한 단일의 허용기준을 사용한다.

6) 이밖에 시험과 해석과의 결과 값(고유진동수, 하중 또는 변위 등) 차이가 $\pm 20\%$ 를 넘는 경우 해석 결과를 불합격으로 판정 할 수 있다. 단, 설비의 설치조건 등의 한계로 인해 사용자에게 의해 승인된 도면과 일부 다르게 시험하는 경우는 결과 값을 사용자와의 협의(고유진동수는 반드시 포함)에 의해 결정할 수 있다. 시험 전/후에 공진 탐색을 통한 고유주파수 비교 시 그 차이가 20%를 넘는 경우에도 불합격으로 판정할 수 있다. 다만, 이러한 경우에는 보다 면밀한 검토가 필요하며 합리적인 이유 등이 제시되고 소명된 경우에는 합격으로 판단한다.

[해설 1]

위 3)항과 관련하여 전력설비의 특성을 고려하여 AISC 혹은 ASME의 기준을 활용할 수 있다. AISC의 Allowable stress design에서는 각 부재에 작용하는 부재력에 따라 허용응력을 규정하고 있다. 한가지 주의할 점은 이러한 허용응력은 부재의 형상에 따라 허용응력을 신중히 결정하여야 한다는 것이다. 예를 들어 설비의 어떤 부재가 비지지길이 조건을 만족하고 휨이 작용한다면 허용응력은 부재의 특성(단면의 조밀여부)에 따라 $0.6 f_y$ 또는 $0.66 f_y$ 로 결정할 수 있다. 이러한 AISC는 부재의 안정성을 정확히 판단할 수 있다는 장점이 있지만, 세장한 부재에 부재력이 복합적으로 작용하거나 부재의 국부적인 부분에 하중이 작용하여 응력상태가 복잡한 경우에는 적용이 어려울 수 있다.

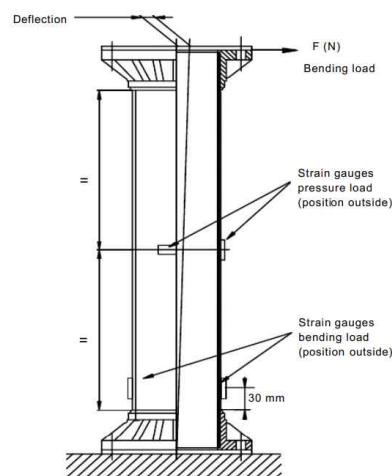
따라서, 형상이 복잡하여 부재력 기반의 평가가 어려우며 응력분포가 복잡한 경우, ASME 기준을 활용할 수 있다. GIS와 같이 내부에 압력이 작용하는 설비의 경우 ASME Section VIII, Division 2를 활용할 수 있다. ASME Section VIII, Division 2에서는 부재의 직접적인 파괴를 유발할 수 있는 Primary membrane stress(P_m)은 허용응력(S)이하여야 하며, 불연속구간을 고려하여 산정된 Local membrane stress(P_L) 또는 P_L 과 단면의 휨응력(P_b)의 합은 $1.5S$ 이하로 정의하고 있다.

[해설 2]

5)항과 관련하여 부싱 및 1) - 4)에 언급되지 않은 재료(또는 부재)의 허용기준은 IEEE 693과 같은 공인된 기준 혹은 표준을 사용할 수도 있다. 예를 들어 붕괴방지수준의 허용기준은 IEEE 693의 성능레벨(Performance level)과 유사하며 IEEE 693 A.2.2를 참고할 수 있다. IEEE 693 A.2.2의 허용기준을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 도체부하 경로에 위치한 절연부재(Insulating components)는 절연부재 내진 강도 기준 (Annex X)에 제시된 강도를 만족시켜야 한다.
- 2) 세라믹(Porcelain) 및 복합 폴리머 절연부재(Insulating components)와 그 단부에서는 균열(Crack), 미끄러짐(Slip), 누출(Leak) 등과 같은 파괴가 없어야 하며 영구변형률은 시험 중 최대 변위의 5% 미만이어야 한다.
- 3) 오일 혹은 가스로 충전된 부상에서는 누출(Leak)이 없어야 한다.
- 4) 연성재료에서 약간의 변형은 허용하지만, 이는 설비 기능에 영향을 주어서는 안된다.
- 5) 취성재료의 균열 및 파괴는 방지되어야 한다.

IEEE693 Annex X에서는 절연부재의 내진 성능평가 기준에 대하여 언급을 하고 있다. 예를 들어 Composite hollow insulator의 경우는 관련기준(IEC 61462 등)에 의하여 계산된 SML(specified mechanical load)를 허용기준으로 정하고 있다. 일반적으로 SML은 MML(maximum mechanical load)의 2.5배로 MML은 부상이 탄성에 범위에 있는 최대 허용가능한 사용하중(Service load)를 의미하고 제작자에 의하여 제시되는 값이다. 따라서, 1) - 2) 항의 기능수행과 붕괴방지 수준의 정의를 고려하면 Composite insulator는 기능수행의 경우 MML을 허용기준으로 붕괴방지수준에서는 $R=1$ 인 경우 SML ($R>1$ 인 경우는 MML)을 허용기준으로 설정할 수 있을 것이다. 다만, DS-0050에 따라 기본적으로 부상은 붕괴방지 수준에서도 손상이 없어야 함으로 보수적으로 SML 대신 IEC 61462에 정의된 Damage limit ($=1.5MML$)을 쓰는 것이 바람직하다. 즉, 기능수행에서 허용기준은 MML, 붕괴방지수준에서는 $1.5MML$ ($R>1$ 인 경우는 MML)이 된다.



[IEC 61462에 따른 composite hollow insulator의 휨실험체 구성]

IEC 61462에서는 위의 그림과 같이 휨실험체를 구성하도록 하고 있다. 기본적으로 내민보 형태로 실험체를 구성한다. 이러한 휨실험체로부터 MML에 해당하는 허용응력은 다음과 같은 절차로 계산할 수 있다.

- ① MML 실험에 사용된 실험체의 길이 (L)을 확인한 후 밑면에 작용하는 휨모멘트(M_b)를 $M_b = MML \times L$ 로 계산한다.
- ② 대상 부상의 단면 2차 모멘트(I)와 반지름(r)을 사용하여 MML에 해당하는 허용 휨법선응력 ($\sigma_{b,allow}$)를 $\sigma_{b,allow} = M_b \times r / I$ 로 계산한다.
- ③ Damage limit, 즉 1.5MML에 해당하는 허용응력은 $1.5\sigma_{b,allow}$ 를 사용한다.

세라믹(Porcelain) 계열의 절연부재는 IEC 62155를 따라 허용응력을 결정할 수 있다. IEC 62155에서는 IEC 61462와 유사하게 세라믹 절연부재에 대한 휨실험을 규정하고 있다. 휨실험을 통하여 MFL (Mechanical failing load)을 결정하도록 하고 있으며 MFL은 휨실험 후 세라믹 절연부재에 균열과 같은 파손이 발생하지 않는 하중을 의미한다. 따라서, MFL을 활용하여 Composite hollow insulator와 유사한 방법으로 허용응력을 산정할 수 있다. DS-0050에 따라 기본적으로 부상은 붕괴방지 수준에서도 손상이 없어야 함으로 보수적으로 기능수행과 붕괴방지수준 모두 세라믹 절연부재는 MFL을 활용한 단일의 허용기준을 사용한다.

IEC 62155에서는 Annex B에 다양한 형태의 휨실험체 구성에 대하여 규정하고 있으므로 허용응력 산정 시 사용한 MFL이 어떠한 실험 조건에서 산정된 것인지에 대하여 주의할 필요가 있다. 또한, IEC 62155에서는 휨실험 외에 내압실험, 비틀림실험, 압축실험, 인장실험을 규정하고 있어 세라믹 절연부재에 작용하는 주요한 하중에 대하여 먼저 검토를 한 후 기준을 적용하여야 한다.

13. 시험 절차

송배전설비 내진설계 실무지침 2.7 설비의 내진검증 시험에 따라 시험의 절차는 다음과 같다.

- ①시험대상설비의 선택 ②지진수준의 결정 ③시험기관의 선택 ④시험계획 ⑤계획의 승인(참관인) ⑥기능시험 ⑦진동대시험 ⑧기능시험 ⑨보고서작성

14. 시험 검증 준비

준비단계는 총 7단계로 이루어지며, 각 단계에서 실행하여야 할 행위와 유의점은 다음과 같다.

- 1) 지진 성능시험 시료(이하 시료)의 종류를 검토한다.
- 2) 시료의 치수, 형상, 조건 등의 검토와 관련해서 시료의 치수, 형상 및 진동대의 성능등을 고려하여, 진동대를 이용한 지진 성능 시험 가능 여부를 판단한다.
- 3) 시료의 인수는 2) 항에서 지진 성능 시험이 가능하다고 판단될 경우, 해당시료를 설치팀에서 인수한다. 인수시, 도면과 실물을 비교 검토하여 2) 항에서 검토된 시료와 동일한 시료인지를 확인한다.
- 4) 시료의 설치는 인수된 시료가 외형적 변형이 없을 경우, 시료를 진동대 위에 설치한다. 이때, 설치로 인한 외형적, 기능적 변형 혹은 성능저하가 발생치 않도록 한다.
- 5) 계측기 설치의 경우 본 시험과 관련된 계측기를 해당위치에 설치한다. 기본 항목 이외에 시험 관리자가 추가항목이 필요하다고 판단하는 경우 계측항목 및 위치는 추가되어야 한다.
- 6) 시료의 기능 확인의 경우 진동대 위에 설치된 시료가 정상적 기능을 구현하는 지에 대하여 확인한다.
- 7) 영상촬영 준비는 2기 이상의 장비를 이용하여 서로 다른 시점에서 촬영이 권장된다. 단, 계전기 등은 1기 이상의 장비 이용이 가능하다.

15. 이상징후 발견 시 조치사항

시험자 혹은 참관인은 시험 중 이상 징후 발견 시 시험의 일시중지를 해당시험 기술자 또는 시험기관 책임자에게 요청하고, 시험기관 책임자는 즉시 이상 징후의 원인을 파악하여야 한다. 해당 징후가 시험에 영향을 미치지 않는다고 판단 될 시 시험을 재개할 수 있으나, 해당 사실을 사용자에게 사후 구두 혹은 서면 보고하여야 한다. 시험기관에 의하여 중단된 시험은 사용자나 설비 제작사가 임의로 재시작을 요청할 수 없다.

16. 시험결과 보고

다음의 각 호의 내용을 보고서에 작성하여야 하며 결과 보고서는 설비의 특성을 대표할 수 있어야 한다.

1) 결과 요약은 아래 내용을 포함하여야 하고 설비의 특성을 대표할 수 있도록 기술한다. 단, 결과 요약은 내진성능수준 별로 구분하여 기술하고 계전기는 예외로 한다.

(1) 시험조건 : 내진등급, 대상(전압구분), 내진성능수준(기능수행수준, 붕괴방지수준 등), 재현주기, 최대지반가속도(PGA), 기기증폭비, 구조물내부증폭비

표 16.1 시험대상기기 시험조건(예시)

구 분			DS-0050	
			보호계전기 최소 기준	
내진 등급			특등급(중요)	특등급(핵심)
대상			기설 765kV급 및 765kV급 미만	신설 765kV급 이상
적용 계수	지반종류		S1~S5 포괄	S1~S5 포괄
	지진구역 계수		0.11	0.11
	위험도 계수	기능수행(재현주기)	-	-
		즉시복구(재현주기)	-	-
		붕괴방지(재현주기)	2.0(2400년)	2.6(4800년)
	기기증폭비		2.5	2.5
	구조물 내부 증폭비		2.35	1 (옥내·외 1층 설치기준)
시험시행 여부(O/X)			○	X
인정시험 결과(O/X)			○	○

※ 특등급 중요 시험(해석)시 특등급 핵심도 만족함

⇒ (사유) 특등급(핵심) 설비의 구조물내부 증폭비 미적용으로 특등급(중요)가 특등급(핵심)을 포괄함
0주기 가속도 : 0.803g(중요)/0.3798g(핵심), peak치 가속도 : 2.0075g(중요)/0.9495g(핵심)

※ 특등급 핵심 시험(해석) 시 특등급 중요도 만족함

⇒ (사유) 해당 시 사유 작성

단, 변압기와 가스절연개폐장치의 기기증폭비는 평가 대상으로 시험결과를 통해 산출하여 동적결과에 기술한다.

(2) 종합결과 : 주요부위의 해석모델과 시험 결과 값의 비교

(3) 동적결과 : 고유주파수, 감쇠비, 시험검증 방법

(4) 응답결과 : 최대 가속도, 최대 응력 또는 하중 및 변위, 허용기준, 해당 마진

(5) 특이결과 : 관찰된 손상 보고

2) 시험대상설비의 식별정보(구성요소, 일련번호 등)

3) 시험 날짜, 온습도 및 시험소의 위치와 연락처

4) 시험자 및 참관인의 소속, 직급 및 성명

5) 시험장비, 시험 방법 및 기기에 대한 설명

6) 시험 구성 및 계측 계획

7) 시험대상설비의 세부사항 및 재료물성

- 8) 시험 전 후의 공진주파수 검색결과
- 9) RRS와 TRS의 비교
- 10) 관찰된 손상 보고
- 11) 참관인의 참관상세(상세한 시험 참관 내용) 및 해당 내용의 문서화(서명 포함)
- 12) 시험 사진 또는 동영상
- 13) 시험 개요도(outline drawing)

APPENDIX A - 계전기(Relay)

A.1 시험대상기기는 내진시험 결과에 따라 표 A.1의 내용과 같이 내진성능 규준이 적용될 수 있으며(IEC 60068-3-3-2019 참조), 규준 1을 기본으로 한다. 단, 필요한 경우 발주자 또는 발주자의 대리인과 협의하여 규준의 적용을 결정할 수 있다.

표 A.1 시험대상기기 분류 규준

규준	내용
0	시험 중 또는 시험 후를 불문하고 기능 불량을 일으키지 않음
1	시험 중 기능불량을 일으키고, 시험 후 정상상태로 복귀
2	시험 중 기능불량을 일으키고, 시험 후 재설정 또는 조정을 필요로 하지만 수리 또는 교환을 필요로 하지 않음

본 시험은 준비단계, 사후처리 단계로 나눌 수 있으며 계전기의 정의된 내진성능 수준은 송배전설비 내진설계 실무지침 2.7 설비의 내진검증 시험에 따라 기능유지수준을 적용한다. 각 단계에서 실행하여야 할 구체적 행위는 다음과 같다.

A.2. 계전기 시험을 위한 기본 계측점 및 계측항목

계전기의 경우 시험 중 변위, 하중, 변형률 측정을 생략할 수 있고 표 A.2를 참고할 수 있다.

표 A.2 계전기 시험을 위한 기본 계측점 및 계측항목

계측항목	계측점	계측방향	비고
가속도	고정치구 또는 시험 대상기기	수평 및 연직	3축 가속도계
	진동대 바닥	수평 및 연직	

A.3 시험 준비 단계

(1) 13 절 참조. 단, 계전기 RRS는 붕괴방지수준에 준해서 단일수준으로 결정한다.

A.4 시험단계

(1) 참관인은 필요에 따라 표 A.4의 양식과 같이 검사 체크리스트를 활용하여 시험

수행 전반에 참관 내용을 기록할 수 있다.

(2) 수행되어야 하는 시험절차는 다음과 같다.

a) 기능검사 1

- 참관인의 입회하에 사전 기능시험이 수행되어야 하며, 참관인은 내진성능을 평가 할 수 있는 자격을 갖춘 전문가가 참관하여야 한다. 이때, 시험소의 내부 인력이 참관인이어도 무방하다.
- 기능시험 범위 : 시험품에 내장되어 있는 기본 보호계전요소(표 A.3 참조)
- 기능시험 항목 : 동작값 시험, 동작시간 시험
- 기능시험 방법

. 동작치 시험

① 계전기 설정 : 제작사가 제시한 동작치 정정 범위의 최소값

: 제작사가 제시한 동작시간* 정정 범위의 최소값

* 동작시간은 정한시로 설정하나 정한시 설정이 불가능할 경우 순시로 설정

② 판정 기준 : 정정값의 $\pm 5\%$ 또는 계전기 제작사가 제시한 절대 오차 중 큰 값 이하에서 동작해야 하며 오차 범위 내에 있어야 함.

. 동작시간 시험

① 계전기 설정 : 제작사가 제시한 동작치 정정 범위의 최소값

: 제작사가 제시한 동작시간* 정정 범위의 최소값

* 동작시간은 정한시로 설정하나 정한시 설정이 불가능할 경우 순시로 설정

② 인가전류 및 전압 : 동작치 정정 최소값의 200 % (**저전압 보호요소의 경우 최소값의 50%**)

③ 판정 기준 : 정정값의 $\pm 5\%$ 또는 계전기 제작사가 제시한 절대 오차 중 큰 값 이하에서 동작해야 하며 측정값은 오차 범위 내에 있어야 함.

표 A.3 기본 보호계전요소

구 분	기본 보호계전요소
시험품 내 기본 보호계전요소가 내장되어 있는 경우	과전류보호(51), 지락과전류보호(51G) 과전압보호(59), 저전압보호(27), 중성선과전압보호(59N), 선택지락과전류보호
시험품 내 기본 보호계전요소가 내장되어 있지 않은 경우	전류계측(CT), 전압계측(PT)

b) 검사 1

- 참관인에 의하여 시료의 설치 및 건전성, 센서부착의 적절성 등이 확인되어야 한다.

c) 공진 주파수 탐색 시험 1

- 11.5 절 참조

d) 시간이력 시험

- 11.6 절 참조
- 계전기 시험의 RRS는 5 절을 참조하여 작성된 것을 사용한다(그림 A.1 참조).
- ※ 사용자가 별도로 요구하는 대상 시험품의 경우 시간이력 시험 중 트립신호가 발생하는지 확인 가능

e) 공진 주파수 탐색 시험 2

- 11.5 절 참조

f) 검사 2

- 시료 육안검사(변형, 정착부 파손 등)

g) 기능검사 2

- 참관인의 입회하에 사후 기능시험이 수행되어야 하며, 참관인은 내진성능을 평가 할 수 있는 자격을 갖춘 전문가가 참관하여야 한다. 이 때, 시험소의 내부 인력이 참관인이어도 무방하다.
- 기능시험 범위 : 시험품에 내장되어 있는 기본 보호계전요소(표 A.3 참조)
- 기능시험 항목 : 동작값 시험, 동작시간 시험
- 기능시험 방법
 - . 동작치 시험

① 계전기 설정 : 제작사가 제시한 동작치 정정 범위의 최소값

: 제작사가 제시한 동작시간* 정정 범위의 최소값

* 동작시간은 정한시로 설정하나 정한시 설정이 불가능할 경우 순시로 설정

- ② 판정 기준 : 정정값의 $\pm 5\%$ 또는 계전기 제작사가 제시한 절대 오차 중 큰 값 이하에서 동작해야 하며 측정값은 오차 범위 내에 있어야 함.

. 동작시간 시험

- ① 계전기 설정 : 제작사가 제시한 동작치 정정 범위의 최소값
: 제작사가 제시한 동작시간* 정정 범위의 최소값

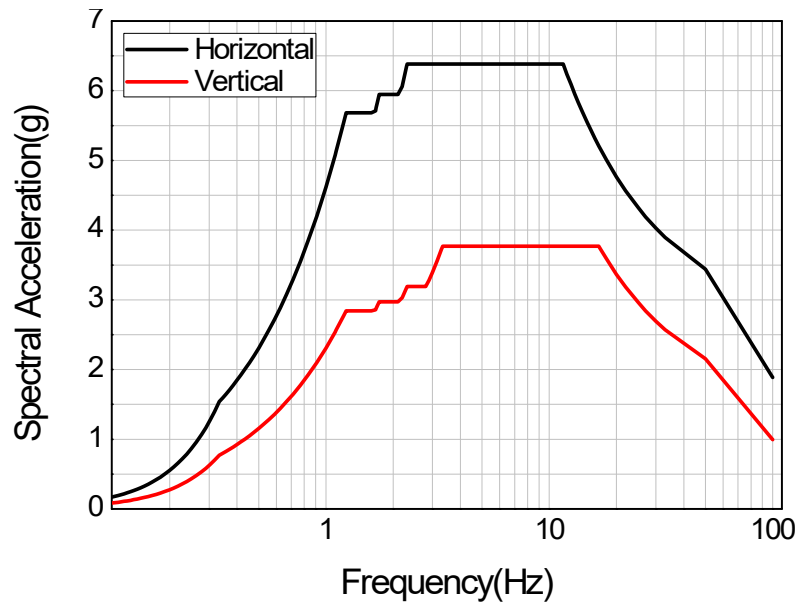
* 동작시간은 정한시로 설정하나 정한시 설정이 불가능할 경우 순시로 설정

- ② 인가전류 및 전압 : 동작치 정정 최소값의 200%

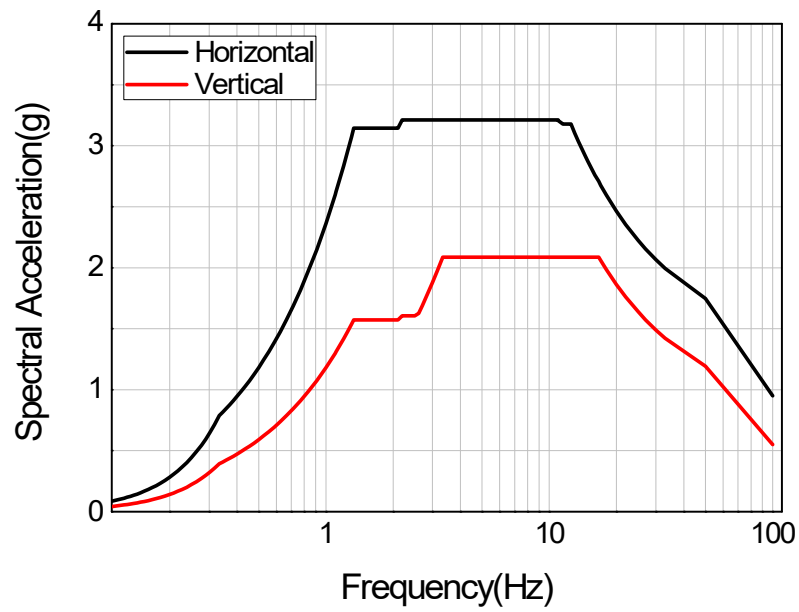
- ③ 판정 기준 : 정정값의 $\pm 5\%$ 또는 계전기 제작사가 제시한 절대 오차 중 큰 값 이하에서 동작해야 하며 오차 범위 내에 있어야 함.

A.5 사후 처리

- (1) 센서 및 시료를 진동대로부터 제거하고, 시험에 대한 보고서를 작성한다. 작성된 보고서에는 16 절의 내용을 포함하여 작성한다. 단, 16절 1) 결과요약의 경우 시험조건 및 관찰된 손상보고를 제외한 항목은 계전기의 특성을 나타내지 않아 포함하지 않는다.



(a) 특등급(중요) 시설 765kV 및 765kV급 미만 설비



(b) 특등급(핵심) 시설 765kV급 이상 설비

그림 A.1 가속도 표준설계응답스펙트럼[감쇠비 2%]

Witness checklist

Customer :

Project :

Test Model :

Test Date :

No	Item	Examination	Results	Remarks
1	기능검사 1			
1-1	도면과 시험기기의 일치성 확인			
1-2	기능검사를 위한 설치 적절성 확인			
1-3	계측신호 이상유무 확인			
2	검사 1			
2-1	시험기기의 설치 적절성 확인			
2-2	센서 설치 적절성 확인			
2-3	고정치구 적절성 확인			
3	공진 주파수 탐색 시험 1			
3-1	고정치구의 공진주파수가 시험에 영향을 미치지 않을 정도로 견고한지 확인			
4	시간이력 시험			
4-1	수행내용이 시험계획과 일치여부 확인			
4-2	TRS의 RRS 포락여부 확인			
5	공진 주파수 탐색 시험 2			
5-1	시간이력 시험 전과후의 공진주파수 비교			
6	검사 2			
6-1	시료의 변형, 정착부의 파손 등 이상확인			
7	기능검사 2			
7-1	계측신호 이상유무 확인			

Witnessed by : (소속 및 직급)

(이름)

(서명)

Date :

APPENDIX B - 가스절연개폐장치

B.1 본 시험은 준비단계, 진동시험단계, 사후처리 단계로 나뉠 수 있으며, 가스절연개폐장치의 경우 **국내 시험장비의 한계 등 특수한 경우에 한해 사용자와의 협의로** 수평 2방향에 대한 내진시험을 수행할 수 있다. 각 단계에서 실행하여야 할 구체적인 행위는 다음과 같다.

- (1) 내진성능수준은 기능수행수준, 즉시복구수준, 붕괴방지수준을 만족해야 한다.
- (2) 기능검사는 즉시복구수준과 붕괴방지수준의 설계 지진력에 대해 수행한다.

B.2. 가스절연개폐장치(GIS) 시험을 위한 기본 계측점 및 계측항목

- (1) 센서의 설치위치는 제작사, 시험소, 최종구매자의 협의에 따른다.
- (2) 센서의 설치위치는 아래를 참조할 수 있다.

표 B.1 GIS 시험을 위한 기본 계측점 및 계측항목

계측항목	계측점	계측방향	비고
변위	Bushing의 최상단	수평방향	변위계 : 2개
가속도	Bushing의 최상단	수평 및 연직	3축 가속도계
	하부 주요 장비의 무게중심	수평 및 연직	
	진동대 바닥	수평 및 연직	
응력	Bushing의 하단	2축	정확한 응력 계산을 위하여 Rosette strain gage 사용 권장
	최대응력부 (band, connection 등)	최대응력방향	
	받침구조물의 다리 하부	각 다리의 2축	

B.3 시험 준비 단계

- (1) 13 절 참조.

B.4 시험단계

- (1) 수행되어야 하는 시험절차는 다음과 같다.

a) 가스 채움

- 시험**설비**의 기능을 확인하기 위하여 정격압의 가스를 채운다. 가스를 채울 때는 응력을 계측하여야 한다.
- 진동대 시험 시 정격압의 가스를 채워야 하나, **사용자**와 협의하여 기능 수행을 위한 최소압력만을 주입할 수 있고 **최소압력은 시험설비의 제품사양을 고**

려하여 참고한다.

b) 검사 1

- 가스의 누설 및 구조적 결함, 제작사에서 시험연구소로 이동 및 설치 중 파손여부 파악
- 가스압력게이지의 눈금 기록

c) 기능검사 1

- 참관인의 입회하에 사전 기능시험이 수행되어야 하며, 참관인은 내진성능을 평가 할 수 있는 자격을 갖춘 전문가가 참관하여야 한다. 이 때, 시험소의 내부 인력이 참관인이어도 무방하다.
- 기능시험 범위 : CQ-03-0070, CQ-03-0080, CQ-03-0090, CQ-03-0010 중 일부
- 기능시험 항목 : 주회로 접촉저항 적정여부, 절연저항, 조작 및 제어회로 시험, 보조회로 절연시험, 동작시간 적정여부, 기밀시험, 전자내시경 내부점검 단, 설비의 조립시 시행한 시험항목은 제외 할수 있다.
- 기능시험 방법 : 시공품질점검표를 참고로 시행한다.

d) 공진 주파수 탐색 시험 1

- 11.5 절 참조
- 직교하는 수평 두 방향, 연직방향에 대한 공진탐색 수행

e) 시간이력 시험

- 11.6 절 참조
- RRS는 5 절을 참조하여 작성된 것을 사용한다.

f) 공진 주파수 탐색 시험 2

- 11.5 절 참조

g) 검사 2

- 가스의 누설 및 시험 중 파손여부 파악
- 가스압력게이지의 눈금 기록

h) 기능검사 2

- 참관인의 입회하에 사후 기능시험이 수행되어야 하며, 참관인은 내진성능을 평가 할 수 있는 자격을 갖춘 전문가가 참관하여야 한다. 이 때, 시험소의 내부 인력이 참관인이어도 무방하다.
- 기능시험 범위 : CQ-03-0070, CQ-03-0080, CQ-03-0090, CQ-03-0010 중 일부
- 기능시험 항목 : 주회로 접촉저항 적정여부, 절연저항, 조작 및 제어회로 시험, 보조회로 절연시험, 동작시간 적정여부, 기밀시험, 전자내시경 내부점검 단, 주회로 접촉저항 적정여부는 사전 기능시험치의 값과 비교하여 시공품질

점검표 기준에 따른다.

- 기능시험 방법 : 시공품질점검표를 참고로 시행한다

B.5 사후 처리

- (1) 센서를 진동대로부터 제거하고, 현재상태를 보존한 상태에서 시험 된 부싱을 우선하여 진동대에서 분리한 후 routine test에 준하는 시험을 수행하고, 그 결과를 시험 보고서에 추가 반영하여야 한다. routine test를 위하여 부싱을 시험소 밖으로 이동하여야 하는 경우, 참관인의 참관하에 시험원이 해당 시료를 봉인/서명하고 기능 시험장에서 서명을 확인한 후에 봉인을 해제하며 동일시료 여부 및 시료의 손상여부를 확인하여야 한다. 부싱의 routine test는 IEC-60137:2017을 참조 할 수 있다.
- (2) (1)항에 따라 부싱의 routine test 중 Dry power-frequency voltage withstand test(9.4)와 Measurement of partial discharge quantity(9.5) 시험만을 수행하며, 이를 위해 부싱 연결부 본체 일부분과 함께(GIS 본체의 파손으로 별도 제작 필요시 설계 도면 따라 제작) 시험해야 한다.
- (3) 부싱 분리 후 설비 일체를 진동대로부터 제거하고, 추가적인 기능시험이 필요한 경우 참관인의 참관하에 시험원이 해당 시료를 봉인 및 서명하고, 기능시험장에서 서명을 확인한 후에 봉인을 해제하며 동일시료 여부 및 시료의 손상여부를 확인한 후 기능시험을 수행한다. 추가 기능시험이 없거나 추가 기능시험 완료 한 경우 해당 사항을 포함하여 시험에 대한 보고서를 작성한다. 작성된 보고서에는 16 절의 내용을 포함하여 작성한다.
- (4) 응력응답의 경우, B.4 b)에서 측정한 정격 가스압의 응력응답과 e)에서 측정한 동적거동에 의한 응력을 고려하여 보고하여야 한다.

Witness checklist

Customer :

Project :

Test Model :

Test Date :

No	Item	Examination	Results	Remarks
1	검사 1			
1-1	시험기기의 설치 적절성 확인			
1-2	센서 설치 적절성 확인			
1-3	정착부 등 경계조건 적절성 확인			
1-4	가스 채움 및 압력 적절성 확인			
2	기능검사 1			
2-1	도면과 시험기기의 일치성 확인			
2-2	기능검사를 위한 설치 적절성 확인			
2-3	계측신호 이상유무 확인			
3	공진 주파수 탐색 시험 1			
3-1	고유주파수 및 감쇠비 확인			
3-2	감쇠비 2%이상인지 확인			
4	시간이력 시험			
4-1	수행내용이 시험계획과 일치여부 확인			
4-2	TRS의 RRS 포락여부 확인			
5	공진 주파수 탐색 시험 2			
5-1	시간이력 시험 전과후의 고유주파수 비교			
6	검사 2			
6-1	시료의 변형, 정착부의 파손 등 이상확인			
7	기능검사 2			
7-1	계측신호 이상유무 확인			
8	사후처리			
8-1	부상 기능시험 성적서 확인			

Witnessed by : (소속 및 직급)

(이름)

(서명)

Date :

APPENDIX C - 변압기

C.1 본 시험은 준비단계, 진동시험단계, 사후처리 단계로 나눌 수 있다. 변압기 시험의 경우 **국내 시험장비의 한계 등 특수한 경우에 한해 사용자와의 협의**로 수평 2방향에 대한 내진시험을 수행할 수 있다. **40tonf을 초과하는 변압기의 경우 운반 및 도로복구 등의 문제로 사용자와 협의를 통해 사후 기능검사를 제외할 수 있다.** 각 단계에서 실행하여야 할 구체적 행위는 다음과 같다.

- (1) 내진성능수준은 기능수행수준, 즉시복구수준, 붕괴방지수준을 만족해야 한다.
- (2) 기능검사는 즉시복구수준과 붕괴방지수준의 설계 지진력에 대해 수행한다.

C.2. 변압기 시험을 위한 기본 계측점 및 계측항목

- (1) 센서의 설치위치는 제작사, 시험소, 최종구매자의 협의에 따른다.
- (2) 센서의 설치위치는 아래를 참조할 수 있다.

표 C.1 변압기 시험을 위한 기본 계측점 및 계측항목

계측항목	계측점	계측방향	비고
변위	Bushing의 최상단	수평방향	변위계 : 2개
가속도	Bushing의 최상단	수평 및 연직	3축 가속도계
	하부 주요 장비의 무게중심	수평 및 연직	
	진동대 바닥	수평 및 연직	
응력	Bushing의 하단	2축	정확한 응력 계산을 위하여 Rosette strain gage 사용 권장
	최대응력부 (band, connection 등)	최대응력방향	
	받침구조물의 다리 하부	각 다리의 2축	

C.3 시험 준비 단계

- (1) 13 절 참조.

C.4 시험단계

- (1) 수행되어야 하는 시험절차는 다음과 같다.

a) 구조검사 1

- 구조적 결함, 제작사에서 시험연구소로 이동 및 설치 중 파손여부 파악

b) 가스 채움(가스 변압기의 경우)

- 시험**설비**의 기능을 확인하기 위하여 정격압의 가스를 채운다. 가스를 채울

때는 응력을 계측하여야 한다.

- 진동대 시험 시 정격압의 가스를 채워야 하나, **사용자와 협의하여** 기능 수행을 위한 최소압력만을 주입할 수 있고 **최소압력은 시험설비의 제품사양을 고려하여 참고한다.**

c) 검사 1(가스 변압기의 경우)

- 가스의 누설 및 시험 중 파손여부 파악
- 가스압력게이지의 눈금 기록

d) 기능검사 1

- **참관인의 입회하에 사전 기능시험이 수행되어야 하며, 참관인은 내진성능을 평가 할 수 있는 자격을 갖춘 전문가가 참관하여야 한다. 이 때, 시험소의 내부 인력이 참관인이어도 무방하다.**
- **기능시험 범위 : CQ-03-0110, CQ-03-0120, CQ-03-0130 중 일부**
- **기능시험 항목 : 절연저항측정, 전압비 시험, 여자전류시험, SFRA시험, 각종 보호장치 및 계기 동작상태, 역률시험, 전자내시경, Fan 동작시험**
- **기능시험 방법 : 시공품질점검표를 참고로 시행한다.**

e) 공진 주파수 탐색 시험 1

- 11.5 절 참조
- 직교하는 수평 두 방향, 연직방향에 대한 공진탐색 수행

f) 시간이력 시험

- 11.6 절 참조
- RRS는 5 절을 참조하여 작성된 것을 사용한다.

g) 공진 주파수 탐색 시험 2

- 11.5 절 참조

h) 검사 2(가스 변압기의 경우)

- 가스의 누설 및 시험 중 파손여부 파악
- 가스압력게이지의 눈금 기록

i) 기능검사 2

- **참관인의 입회하에 사후 기능시험이 수행되어야 하며, 참관인은 내진성능을 평가 할 수 있는 자격을 갖춘 전문가가 참관하여야 한다. 이 때, 시험소의 내부 인력이 참관인이어도 무방하다.**
- **기능시험 범위 : CQ-03-0110, CQ-03-0120, CQ-03-0130 중 일부**
- **기능시험 항목 : 절연저항측정, 전압비 시험, 여자전류시험, SFRA시험, 각종 보호장치 및 계기 동작상태, 역률시험, 전자내시경, Fan 동작시험,**

단, SFRA 및 역률시험은 사전 기능시험치의 값과 비교하여 시공품질점검표 기준에 따른다.

C.5 사후 처리

- (1) 센서를 진동대로부터 제거하고, 현재상태를 보존한 상태에서 시험 된 부싱을 우선하여 진동대에서 분리한 후 12.허용기준의 (5)를 참고하여 하중시험을 수행하고, 그 결과를 시험 보고서에 추가 반영하여야 한다. 하중시험을 위하여 부싱을 시험소 밖으로 이동하여야 하는 경우, 참관인의 참관하에 시험원이 해당 시료를 봉인/서명하고 기능시험장에서 서명을 확인한 후에 봉인을 해제하며 동일시료 여부 및 시료의 손상여부를 확인하여야 한다. 작성된 보고서에는 16 절의 내용을 포함하여 작성한다.
- (2) (1)의 부싱 하중시험은 동일 재료 부싱의 경우는 응력이 가장 크게 발생한 부싱을 대표로 실험할 수 있고, 재료가 다른 경우는 재료별 응력이 가장 크게 발생한 부싱 각각의 시험을 수행해야 한다.
- (3) 가스변압기의 응력응답의 경우, C.4 b)에서 측정한 정격 가스압의 응력응답과 f)에서 측정한 동적거동에 의한 응력을 고려하여 보고하여야 한다.

Witness checklist

Customer :

Project :

Test Model :

Test Date :

No	Item	Examination	Results	Remarks
1	검사 1			
1-1	시험기기의 설치 적절성 확인			
1-2	센서 설치 적절성 확인			
1-3	정착부 등 경계조건 적절성 확인			
1-4	가스 채움 및 압력 적절성 확인(가스변압기 경우)			
2	기능검사 1			
2-1	도면과 시험기기의 일치성 확인			
2-2	기능검사를 위한 설치 적절성 확인			
2-3	계측신호 이상유무 확인			
3	공진 주파수 탐색 시험 1			
3-1	고유주파수 및 감쇠비 확인			
3-2	감쇠비 2%이상인지 확인			
4	시간이력 시험			
4-1	수행내용이 시험계획과 일치여부 확인			
4-2	TRS의 RRS 포락여부 확인			
5	공진 주파수 탐색 시험 2			
5-1	시간이력 시험 전과후의 고유주파수 비교			
6	검사 2			
6-1	시료의 변형, 정착부의 파손 등 이상확인			
7	기능검사 2			
7-1	계측신호 이상유무 확인			
8	사후처리			
8-1	부상 하중시험 성적서 확인			

Witnessed by : (소속 및 직급)

(이름)

(서명)

Date :

APPENDIX D - 해석보고서

D.1 해석보고서 제출 대상 설비 중 변압기와 가스절연개폐장치는 본 예시를 참조하여 주요 검토내용을 참고할 수 있다.

D.2 해석보고서 주요 검토사항(예시)

(1) 검토조건

- (a) 송배전설비 내진설계기준(DS-0050) 준용 여부
- (b) 설계 지진하중 산정 및 하중조합 적정성
- (c) 내진성능수준 만족 여부
- (d) 3차원 FEM 해석모델링 적합성
- (e) 안전성 검토 결과 적정성

(2) 검토결과

- (a) 송배전설비 내진설계기준(DS-0050) 준용 여부
 - 송배전설비 내진설계기준(DS-0050) 만족
- (b) 설계 지진하중 산정 및 하중조합 적정성
 - 1) 표준설계응답스펙트럼가속도 적용 적합
 - S1~S5 포괄곡선 적용 만족
 - 2) 하중조합 적용 적합
 - 자중, 차단기 작동하중, 전자력, 가스압, 적설하중, 지진하중 조합 적합
 - 부재력 검토시 LRFD 기반 하중조합 반영 적합
 - 응력 검토시 ASD 기반 하중조합 반영으로 보수적 결과도출 적합
 - 3) 구조물 내부증폭비 적용 적합
- (c) 내진성능수준 만족 여부
 - 붕괴방지 및 기능수행 수준 각각에 대한 검토 적합

※ 의견 : 현장 납품 시 기능수행·즉시복구·붕괴방지 수준에서 요구하는 포괄적인 요구사항 만족 할 것
- (d) 3차원 FEM 해석모델링 적합성
 - 1) 모드해석 결과 일반적인 GIS 해석 및 실험 결과들과 경향성 부합
 - 질량참여율 90% 이상 적용 확인
 - 2) 응답수정계수(R) 사용 확인 및 적용 조건 만족
- (e) 안전성 검토 결과 적정성

- 1) 응답스펙트럼 해석 및 등가정적 해석 적용 조건 적합
- 2) 좌굴 안정성 검토 결과 적합
- 3) GIS 본체 안전성 검토 결과 적합
- 4) 용접 안전성 검토 결과 적합

D.3 해석보고서 주요 목차(예시)

1. Design criteria	0
1.1 개요	0
1.2 설계 기준 및 주요 데이터	0
1.3 해석용 S/W	0
1.4 치수 및 중량	0
1.4.1 기기 경계 치수	0
1.4.2 유효중량 산정	0
1.5 구조 재료의 성질	0
2. 설계하중	0
2.1 자중	0
2.2 충격력	0
2.3 가스압	0
2.4 전자력	0
2.5 지진하중	0
2.5.1 설계응답스펙트럼	0
2.5.3 내진해석법의 적용	0
2.5.4 지진영향의 조합	0
2.6 하중조합조건	1
2.6.1 단위 하중 조건	1
3. 구조해석 모델 작성	2
3.1 해석모델 작성	2
3.2 재질 및 부재 두께	2
3.3 경계조건	5
4. 구조해석결과	6
4.1 모드해석 결과	6
4.1.1 질량 참여율	6
4.1.2 주요 모드 형상	7
4.2 허용응력	7
4.3 응력 평가 결과	7
4.3.1 지진해석 - 기능수행	7
4.3.2 지진해석 - 붕괴방지	7
4.4 고정볼트 평가	7

4.5 용접부(정착부) 평가	7
4.6 응답수정계수 적용의 적절성 검증	7
4.7 응답수정계수 미적용시의 용접부 평가	7
5. 결론	7
Appendix 1. 감쇠비에 따른 설계응답스펙트럼 비교	8
Appendix 2. 주요 구조부재의 가속도 증폭계수 확인	8
Appendix 3. 응답수정계수 적정성 검토를 위한 push-over 해석 결과	8
Appendix 4. 응답스펙트럼 모드조합 부호 기능 확인	8
Appendix 5. 응답수정계수 미적용시 응력 평가 결과	8

Worksheet(한글)

■ 기업비밀 □ 일반공개

◇ 주제분야 420000 ; 425007	
◇ 내용요약 본 지침서는 송배전설비 내진설계기준(DS-0050, 2021)과 내진설계실무지침서를 기반으로 작성되었으며, 행정안전부 내진설계기준 공통적용사항(2017)과 경주지진(2016) 이후 산업통장자원부의 전력설비 내진설계기준 상향요구를 반영하였다. 본 지침서는 인정시험항목에 내진설계가 추가됨에 따라 인정시험시 가이드라인을 제공할 목적으로 마련되었으며, DS-0050의 개정에 따라 표준규격인 ES-6120-0001, ES-6120-0002, ES-6120-0003, ES-6120-0005, ES-6120-0007, ES-5945-0001, ES-5945-0002, ES-5945-0006, ES-5945-0008, ES-6110-0002 등이 개정되었고 본 지침서를 참고하여 적용할 수 있다. 본 지침서는 전력설비의 정·동적 특성을 대표할 수 있도록 하는 절차 및 허용기준 등에 대해 기술하고 있고 송배전설비의 내진설계대상을 정의하여 다양한 내진성능수준에 적합한 내진설계목표를 설정하고 안정적인 전력공급이 가능할 수 있도록 하고 있다.	
◇ 보고서명 송배전설비 내진설계 인정시험 지침서	
◇ 저자(소속 및 성명) 차세대송변전연구소 전낙현	
◇ 페이지수 : 32 pages	
◇ 출판년도 · 언어 : 2022. 7. 한글	
◇ Key word ① 송·변·배전설비 ② 송배전설비 내진설계기준 ③ 내진설계기준 공통적용사항 ④ 최소 지진하중 0.22g ⑤ 내진성능수준 다원화 ⑥ 내진설계변수 최적화 ⑦ 구조물 내부증폭비 ⑧ 기기증폭비 ⑨ 변압기 실규모 시험 ⑩ 변압기 부싱 ⑪ 응답수정계수	
◇ 연구기간 : 해당사항 없음	◇ 총개발비 : 해당사항 없음
◇ 협력기관 : (재)한국지진공학, 한국전기연구원, 부산대학교, KTL, 한국SGS	

배 부 처

[illegible]