

THE MAGAZINE 2024

KOREAN SOCIETY OF HAZARD MITIGATION

2024.01

통권 111호
Vol.24 No.1

한국방재학회지

특집 국내 전력설비 내진설계 및 성능평가 기술 동향

송배전 설비 내진설계 기준 및 인정시험 지침서 소개

송배전 전력설비에 대한 내진설계 및 내진성능평가 기술

HVDC 변환설비의 내진설계 요구사항에 대한 소고



www.kosham.or.kr



한국방재학회
Korean Society of Hazard Mitigation

Think Globally Act in Detail

With the goals of 'best quality' and 'perfect construction' along with passion and ambition, KCC E&C is creating value for a better tomorrow through construction capabilities that have been accumulating for over half a century.

Our company is rising as the world's top builder and impacts the world with our large-scale ideas and calculated accuracy as we make our way worldwide.





CONTENTS

한 국 방 재 학 회 지

통권 111호 Vol. 24 No.1 2024.01

학회 임원 명단

회 장 최상현

부회장 임남형 전환돈 왕순주 윤동근

한택희 김정중 이종설 차경렬

이태형 정건희

이 사 강준석 공정식 김기욱 김병식

김상단 김서준 김영민 김윤태

김응석 김이형 김진민 김진옥

김현기 남원호 박승희 백천우

송창근 송창영 송충현 신현석

양동민 오윤경 오정호 원정훈

유도근 유철상 이경도 이병재

이정민 이종인 이호준 최병호

최재순 황철비

감 사 조덕준 오민수

편집위원회 위원단

위원장 문지호

간 사 김승준 송영석

위 원 서진석 황석환 성기환 김만일

김홍렬 신호성 심형보 박종표

주진걸 손상영 홍용석 최우일

신년사

002 신년사 최상현

특집 : 국내 전력설비 내진설계 및 성능평가 기술 동향

004 송배전 설비 내진설계 기준 및 인정시험 지침서 소개 문지호

011 송배전 전력설비에 대한 내진설계 및 내진성능평가 기술

송종걸 · 문지호

017 HVDC 변환설비의 내진설계 요구사항에 대한 소고 문지호 · 송종걸

기술기사

023 재난 및 항공 체류객 지원 대응 Safe Space In Jeju 구축 정창삼 · 안현준 · 김재경 · 황형주

한국방재학회 뉴스

029 신입회원, 입회안내, 입회신청서, 광고신청서, 논문집목차 사무국

039 한국방재학회 국문논문집, 한국방재학회지 투고안내 사무국

신년사 新年辭



최상현
한국방재학회
회장

한국방재학회 회원 여러분,

2024년 새해가 밝았습니다. 새해 복 많이 받으세요.

작년 초에 12대 회장으로 취임한 이래 벌써 한해가 지났습니다. 처음 임무를 맡았을 때 길게 느껴졌던 2년이라는 임기가 벌써 반밖에 남지 않았다는 생각에 다시 한번 제가 약속드렸던 공약을 살펴보고, 노력이 많이 부족했음을 새삼 느꼈습니다. 남은 1년의 기간 동안 열심히 뛰어서 약속드렸던 일들이 잘 마무리되도록 하겠습니다. 특히 최근 진행되고 있는 일본자연재해학회와의 영문논문집 “Journal of Disaster Science and Management” 공동 출판권은 스폰서링제네이쳐社와 계약을 앞두고 있으며, 다가올 3월 중으로 출범할 계획입니다. 우리 학회의 숙원이었던 SCIE 등재까지 회원님들의 많은 도움과 조언 부탁드립니다.

올해는 우리 학회가 25살이 되는 해입니다. 우리 학회의 규모도 많은 분들의 도움에 힘입어 6,000명을 넘었고, 방재분야에서 가장 큰 학회로 자리잡았습니다. 다시 한번 회원님들의 성원에 감사드립니다. 올 한해 동안은 방재분야의 선도학회의 위상을 더욱 공고히하고 다가오는 1만 회원 시대를 준비할 수 있는 체계를 갖추도록 노력하겠습니다. 먼저 현재 학회 재정이 두배 이상 커질 수 있도록 개인회원과 기업회원 규모를 증대하겠습니다. 특히 기업회원의 경우 현재 23개 社를 50개 社 이상으로 늘려서 저변 확대와 동시에 학회 재정의 안정화를 꾀할 수 있도록 하겠습니다. 개인회원의 경우 한국방재학회 회원으로서의 소속감을 가질 수 있도록 다양한 혜택과 학회 운영 참여의 기회를 늘려나가도록 하겠습니다. 또한 사무국의 공간과 인원 규모도 학회 규모에 걸맞도록 확장하도록 하겠습니다.

우리 사회는 1970년대부터 인프라시설의 급속한 건설을 건설을 토대로 기적적인 발전을 이뤄냈습니다. 뒤돌아볼 겨를없이 빠른 시간 내에 건설된 인프라시설은 어느덧 노후화가 가속화되고 있고, 최근 보다 가시화되고 있는 기후변화에 따른 자연재난의 대형화 및 불확실성, 날로 심화되는 도심 밀집화와 맞물려 우리 사회의 재난안전에 대한 우려를 깊게 하고 있습니다. 관련하여

재난 발생에 따른 피해를 최소화하고, 보다 효율적으로 인프라시설을 유지관리할 수 있는 역량 강화가 필요한 시점이며, 방재분야 선도학회로서 우리 학회의 역할 강화가 요구되는 상황입니다.

금년 2월 21일부터 23일까지 한국방재학회 학술대회가 “재난관리 패러다임 대전환”이라는 주제로 제주도 신화월드에서 개최됩니다. 금번 학술대회는 학술발표세션 외에 한국습지학회, 한국철도학회, 한국터널지하공간학회, 한국수자원학회를 포함한 유관학회와의 공동토론회, 아시아태평양 재난복원력센터(APDRC)가 주관하는 포스터세션 등 다양한 토론과 발표 행사가 예정되어 있습니다. 더욱 다변화되고 있는 재난에 대응할 수 있는 역량을 강화하기 위한 새로운 패러다임을 같이 모색할 수 있는 적절한 행사라고 생각합니다. 금번 학술대회에 보다 많은 회원 여러분들이 참석하셔서 새로운 재난관리 패러다임의 필요성을 공감하고, 관련 지식 공유를 통해 우리사회의 재난역량을 보다 키워나갈 수 있는 밑거름이 되었으면 좋겠습니다.

2024년 새해에는 회원님들과 우리사회를 보다 안전하게 만들 수 있는 소중한 생각들을 공유할 수 있는 기회가 더욱 많아지길 기대하며, 회원님들의 더욱 왕성한 활동을 기대하겠습니다.

항상 건강하시고, 2월 21일에 뵙겠습니다.

감사합니다.



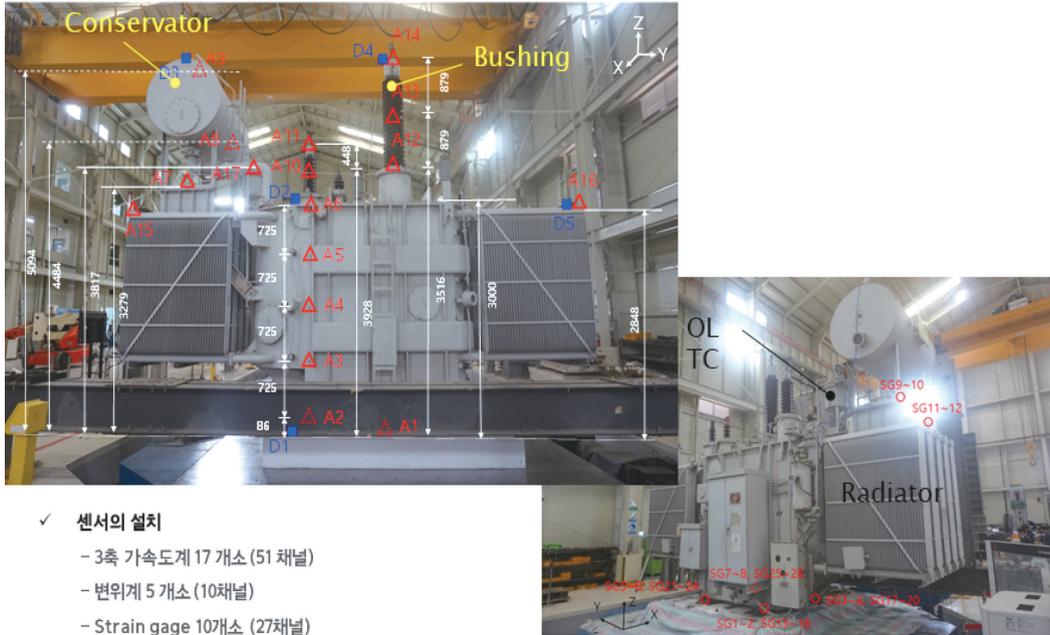
송배전 설비 내진설계 기준 및 인정시험 지침서 소개

문지호
강원대학교
건축·토목·환경공학부
부교수
jmoon1979@kangwon.ac.kr

1. 서론

경주, 포항지진의 발생 및 피해로 인해 행안부(前 국민안전처) 내진설계기준 공통적용사항(2017)이 제정되고, 산업부에서는 한전에 붕괴방지수준에서 평균재현주기 4,800년에 해당하는 유효수평지반가속도를 요구하고 있다. 그 후 속으로 한전에서는 변압기에 대한 지진 안전성을 확인하기 위해 그림 1과 같이 실규모 실증실험을 수행하였다. 실험을 통해 새로운 사실을 확인 할 수 있었는데 변압기 등 변전 핵심설비는 기기증폭으로 인해 본체에 손상이 발생할 수 있다는 것이다. 근래 일본 노토반도 강진(규모7이상, 2024년)으로 인해 시가 원자력발전소 변압기 배관부 손상 보고 사례가 있다. 이처럼, 고중량 전력설비에 대한 손상 발생 메커니즘을 규명하여 안정적인 전력공급을 달성할 수 있도록 하는 전략이 매우 중요함을 알 수 있다.

한국전력이 보유한 설비는 송전, 변전, 배전설비로 이루어져 있다. 송전은 전력을 수송하는 기능을, 변전은 목적에 맞게 전압을 변경하는 기능을 의미하며 배전은 전력이 최종적으로 필요한 장소에 공급하는 기능을 의미한다. 한국전력에서는 송·변·배전 설비를 포괄하는 내진설계기준을 송배전설비 내진설계기준으로 명칭한다.



- ✓ **센서의 설치**
 - 3축 가속도계 17 개소 (51 채널)
 - 변위계 5 개소 (10채널)
 - Strain gage 10개소 (27채널)
 - 검교정된 센서 사용

그림 1. 변압기 실규모 실증실험 전경

한국전력의 내진설계기준이 가장 많이 준용하고 있는 법령 및 정부 정책은 지진화산재해대책법, 전기사업법, 행안부 내진설계기준 공통적용사항, 산업부 에너지시설 내진 공통적용사항, 내진설계일반 (KDS 17 10 00, 2018)을 들 수 있다. 해외 전력설비 내진설계의 경우 IEEE Std. 693을 중심으로 ASCE 7-16을 일부 참조하여 내진설계를 하고 있다. 그 이유로 미국 변전설비 내진설계가이드라인(IEEE Std. 693)에서는 변전소나 설비의 감쇠비 등이 일반 구조물과는 다른 특성을 갖고 있어 ASCE 7-16에 우선해서 적용한다고 기술하고 있다. 결국 한국 전력의 송배전설비 또한 자체의 특성을 고려한 내진설계 개념 수립이 필요함을 역설하고 있음을 알 수 있다. 이처럼, 송배전설비 내진설계기준은 안정적인 전력공급에 있어 필요한 사항 및 설비의 특성 등을 종합적으로 고려하여 개정되었다.

2. 송배전설비 내진설계기준

2.1 내진설계기준 개정 이력

한국전력은 송배전설비 내진설계기준을 근 20년 이상 제·개정 하면서 시대 요구사항과 설비의 특성을 반영하여 그 목적에 맞게 변화되어 왔고 그림 2를 통해 확인할 수 있다.

2.2 송배전설비 내진설계기준 개정사항

2.2.1 송배전설비 내진성능수준

송배전설비는 토목구조물과는 다르게 전기기와 구조물을 동시에 고려하게 된다. 특히 전기기는 22.9kV급 이상을 대상으로 함에 따라 일반 전기설비와는 다른 접근을 요하게 된다. 이에 따라, 송배

과제명	송변전설비 내진설계기준 설정 연구	송배전설비 내진설계기준 제 개정 및 내진성능 개선 연구	내진설계기준 개정을 위한 전력설비의 지진응답특성 연구
수행기간	2000.7 ~ 2001.9	2012.1 ~ 2014.3	2018.11 ~ 2020.12
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> 한전 송변전 설비의 내진설계기준 최초 개정 	<ul style="list-style-type: none"> 송변전설비 내진기준 일원화 배전설비 내진기준 제정 원전 S/Y 내진기준 제정 	<ul style="list-style-type: none"> 정부의 기준 상향 요구 반영 내진설계변수 최적화
기준	<ul style="list-style-type: none"> '97년 건교부 국가공통기준 	<ul style="list-style-type: none"> '97년 건교부 국가공통기준 	<ul style="list-style-type: none"> KDS 17 10 00 "내진설계 일반" (2018)
내진기준	<ul style="list-style-type: none"> 345kV 이상 : 0.154g 345kV 미만 : 0.11g 	<ul style="list-style-type: none"> 전 송배전 설비 : 0.154g 원전 S/Y 설비 : 0.3g 	<ul style="list-style-type: none"> 핵심설비 (765kV급 송변전) : 0.286g 중요설비 (765kV급 ↓ 송변전) : 0.22g 일반설비 (배전설비) : 0.154g 원전 S/Y 설비 : 0.3g



그림 2. 송배전설비 내진설계기준 변천사

표 1. 송배전설비의 내진설계를 위한 요소 별 구분

구분	정의
구조요소	기기의 구조체, 정착부및 이를 지지하거나 수용하는 구조물
기능요소	기기의 전기장치 등 전력공급과 관련된 것

표 2. 송배전설비 붕괴방지수준

내진성능수준	대상구조물	성능정의
붕괴방지	구조요소 기능요소	소성 변형 허용 지진 후 복구가 가능한 안전 수준

전설비 내진설계기준 개정사항은 설비를 구조요소와 기능요소로 나누게 된다. 각각의 정의는 표 1을 통해 확인 할 수 있다.

행안부의 요구사항에 따라 2017년 이후 제·개정되는 내진설계기준은 최소 2가지 이상의 내진성능수준을 선택해야 하고 송배전설비 내진설계기준 또한 이를 충족시키고 있다. 표 2는 이 중 붕괴방지수준의 내진성능수준을 타나내고 있고 요소 별 구

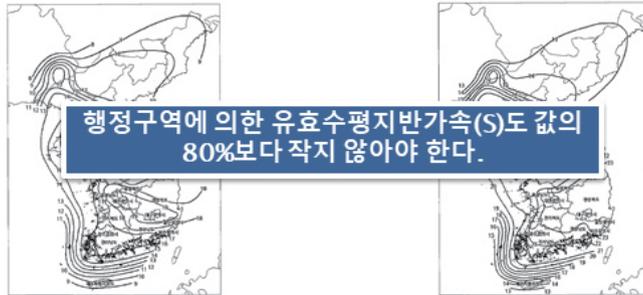
분 정의에 따라 각각의 성능정의를 하고 있다. 붕괴방지수준의 경우 세기가 높은 지진이 발생하더라도 설비의 전력공급에 중대한 차질이 발생하지 않으며, 지진 후 복구가 가능하여야 하는 안전수준으로 정의하고 있다.

붕괴방지수준의 경우 기본적으로 그림 3과 같이 중요도 구분에 따라 신설 765kV급 송변전설비는 0.286g를, 그 외 송변전설비는 0.22g 그리고 배전설

[내진성능 요구수준(산업부), 행정구역 기준]

구분	대상 설비	최소 내진성능 요구수준(g)		비고
		신설	기설	
핵심 (4,800년)	765kV 급 송변전설비	0.286	0.22	인허가(산업부 고시일~)
				인허가(~산업부 고시일)
중요 (2,400년)	765kV 급 미만 송변전설비	0.22		-
일반 (1,000년)	배전설비	0.154		-

[내진성능 요구수준(산업부), 국가지진위험지도 기준]



[2400년 재현주기, 최소 0.176g]

[4800년 재현주기, 최소 0.2288g]

그림 3. 행정구역 및 국가지진위험지도 기준에 따른 붕괴방지수준의 유효수평지반가속도(S)

비는 0.154g를 채택하고 있다. 공사 발주 전 해당지역을 특정짓기 어려운 경우가 많기 때문에 행정구역 구분이 기본안으로 사용되고 있지만, 행안부 내진설계기준 공통적용사항을 따라 국가지진위험지도에 따른 구분을 따를 수 있도록 허용하고 있다.

한편, 한국전력은 행안부의 내진설계기준 공통적용사항을 준용하지만, 원자력설비는 지진화산재해대책법에서 별도로 명시하고 있는 원자력법에 따라 현재 한전·한수원이 공동으로 개발한 APR1400 기준을 준용하고 있다. 원전스위치야드설비의 경우 한전과 한수원이 시설을 공유하고 있어 이에 대해 설계 지진하중 설정이 중요하다. 한전의 경우 765kV급 미만 송변전설의 경우 최소 0.22g를 요구하고 있고, 원자력설비의 경우 안전정지지진(SSE)수준인 0.3g를 요구하고 있기 때문에 이 두 가지를 포괄할 수 있는 설계응답스펙트럼을 적용

하여 평가하도록 요구하고 있다. 이때, 0주기 응답스펙트럼가속도는 최소 0.3g를 적용하게 된다.

3. 송배전설비 내진설계 인정시험 지침서

한국전력은 변전 핵심설비의 내진설계 보고서나 내진검증 시험을 위해 송배전설비 내진설계기준(DS-0050)을 좀 더 구체화한 송배전설비 내진설계 인정시험 지침서를 제정하였다. 송배전설비 중 변전 핵심설비인 변압기와 가스절연개폐장치의 경우 구조부에 해당하는 본체는 응답스펙트럼 해석을 통해 기기증폭비 등을 평가하고 정작부의 경우는 비대칭성, 응답스펙트럼 해석방법 제약사항으로 압축 및 인발에 대한 합리적 평가가 어려워 등가정적해석법을 적용하게 된다. 전력설비의 경우 전기

기기의 형태나 설치되는 위치 등이 각각 상이함으로 지반에서 전달되는 지진가속도의 값이 증폭되는 현상들을 주요하게 고려해야 한다. 이러한 점을 반영하여 그림 4와 같이 등가정적하중을 산정하게 된다. 이때 고려되는 변수로는 설비의 중량 중 작동을 고려한 유효가동 상태의 값을 적용하게 되고, 소성변형을 반영할 수 있는 응답수정계수, 설비 자체의 증폭으로 인한 효과를 반영하는 기기증폭계수, 변전소 등에 설치된 설비가 위치한 높이에 따른 건물증폭계수, 지반의 증폭효과를 반영한 최대지반가속도로 이루어져 있다.

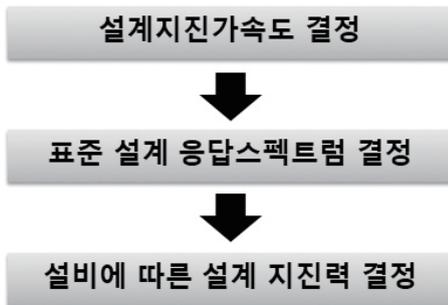
지진해석 혹은 실험을 통해 나온 응력 및 부재력으로 합부 판정을 하기 위해 허용기준이 필요하다. 허용기준 중 주요내용을 정리하면 아래와 같다

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 허용하

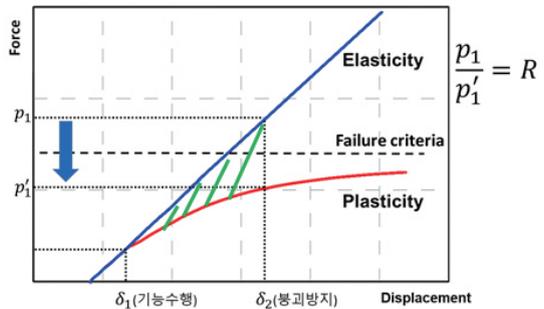
나 이러한 변형이 설비의 파괴로 이어지지 않아야 한다. 설비에 발생한 약간의 변형이 설비의 파괴에 어떠한 영향을 미치는지 판단이 어려운 경우, 보수적으로 다음의 두 가지 접근방법을 활용할 수 있다. ① 응답수정계수(R)을 사용하지 않는 경우 설비의 거동은 탄성영역으로 제한되며 허용기준은 항복응력(혹은 파괴하중)이다. ② 응답수정계수를 사용하는 경우 설비의 각 재료는 허용응력을 만족하여야 한다.

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)은 ASME Section II, Part D에 따라 인장강도와 항복강도에 대하여 2.4와 1.5의 안전율을 확보하도록 하고 있다. 1) - 2) 항을 고려하면 성능수준에 따른 연성구조부재의 허용기준은 표 3과 같다. 표 3에서 1.5S는 ASME Section VIII, Division 2, part 5에서 요구하는 응력구분과 응력선



$$F = \frac{W A_p}{R}, \quad A_p = \alpha_A \alpha_B A$$

F : 설계지진력, W : 설비 유효 가동 중량
 R : 응답수정계수, α_A : 기기증폭계수
 α_B : 건물증폭계수, A : 최대지반가속도/g



소성변형을 통한 지진 에너지소산
 (하중의 부담을 줄여줄 수 있음)

그림 4. 등가정적하중 산정 절차 및 붕괴방지수준 도입 개념

표 3. 연성구조부재의 성능수준에 따른 허용기준

구분	기능수행 수준	붕괴방지 수준	비고
R=1	S(1.5S)	f_y	$S = \min(\frac{2}{3} f_y, \frac{1}{2.4} f_u)$
R>1		S(1.5S)	

형화를 통하여 응력을평가하는 경우 허용할 수 있는 허용응력의 최대치를 의미한다.

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 관련 기준(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 허용응력을 결정할 수 있다. 기능수행과 붕괴방지 수준 모두 MFL(Mechanical failing load)을 활용한 단일의 허용기준을 사용한다.

위의 허용기준은 지진해석 보고서 검토 시 준용되는 허용기준을 설명했다면, 아래는 내진검증 시험 방법과 그 허용기준을 기술하고 있다. 시험방법은 표 4와 같이 기능수행수준, 즉시복구수준, 붕괴방지수준에 대해 가진을 하고 각각의 이상유무 판단기준을 다르게 가져가고 있다. 가진시험은 지진 크기별로 30초 이상 진동 후 설비 이상유무를 확인게 된다.

시험 전/후에 공진탐색을 통한 고유진동수 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.

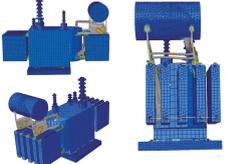
4. 고중량 전력설비 내진검증 시험을 위한 협력체계 구축

설계지진하중 결정을 위해서는 기기증폭계수를 산정하는 것이 매우 중요하다. 전력설비의 중요도를

표 4. 내진검증 시험 방법에 따른 허용기준

구분	유효수평 지반가속도(규모)	이상유무 판단기준	
		구조검사	기능검사
1차진동(기능수행)	0.0803g(5.7)	변형 불허	모든 기능 수행
2차진동(즉시복구)	0.11g(6.0)	변형 불허	모든 기능 수행
3차진동(붕괴방지)	0.22g(6.6)	변형 가능 (고유진동수 변화율 20% 제한)	전력 공급 수행

표 5. 내진검증 시험 협력체계 구축 주요내용

협력내용	<ul style="list-style-type: none"> • (인정시험) 한전 납품 변전설비 내진성능 인정시험 우선 시행(패스트트랙) • (기술개발) 고중량 설비 내진설계 및 성능평가 시험기술 공동개발 	
	[전력연] 전력설비 내진설계 기술	[부산대] 고중량 설비 내진시험 설비
 <ul style="list-style-type: none"> • 내진설계 기준 • 안전성 해석 기술 • 설비 주파수 예측 • 설비 감쇠비 예측 	 <ul style="list-style-type: none"> • 세계 10위 규모 • 최대 하중 80톤 • 변압기 시험 가능 • KOLAS 인증 기관 	

고려할 때 이를 직접적으로 고려한 실험결과와 반영이 매우 중요하다. 특히 변압기의 경우 한국전력의 주력 설비로서 최소 무게가 40톤에 육박하기 때문에, 이를 실험할 수 있는 시험기관과의 협력이 매우 중요하다. 이에 한국전력은 부산대와 MOU체결(2023년)을 통해 지진방재연구센터에서 변전 핵심설비 시험을 위한 KOLAS 인증 등 내진 검증을 위한 협력 체계를 구축하였다. 협력체계 주요내용은 표 5를 통해 확인 할 수 있다.

고중량 변전 핵심설비의 시험이 가능한 진동대 성능은 3DOF 진동대(Table B)의 경우 최대적재 하중은 60ton, 최대가속도 3g, 5x5m, 최대 용량 80 ton 내외, 충분한 여유 성능확보로 out of control 배제의 조건을 갖고 있다. 본 협력체계 구축을 통해 변전 핵심설비의 손상 발생 메커니즘을 근본적으로 규명할 수 있을 것으로 기대하고 있고, 전 세계적으로 증가하고 있는 강진으로 인한 전력설비 지진피해를 예방할 수 있는 솔루션을 제공 할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

5. 맺음말

본고에서는 한국전력에서 사용하는 송배전설비 내진설계 기준 및 인정시험 지침서에 대한 내용을

소개하였다. 한국전력은 용인 반도체 클러스터 전력공급 등 첨단산업의 발전을 위해 한국전력은 안정적인 전력공급을 위한 기술개발에 지속적인 심혈을 기울이고 있다. 근래 양산단층대의 확인으로 인해 향후 전력설비에 있어 추가적인 내진대책 수립이 필요할 것으로 보이며, 향후 기설 전력설비의 지진해석 방법론 개발 및 보강안 수립 등선제적 대응을 위한 연구과제를 추진할 계획이다. 

참고문헌

1. 국토교통부, KDS 17 10 00 내진설계 일반, 2018
2. 국토교통부, KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준, 2019
3. 한국전력, 송배전설비 내진설계 실무 지침서, 2021
4. 한국전력, 송배전설비 내진설계 인정시험 지침서, 2022
5. 행정안전부, 내진설계기준 공통적용사항, 2017
6. ASCE 7-16, American Society of Civil Engineers, 2016
7. ASME Section VIII, Division 2, part 5, 2019
8. IEEE 693, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018



송배전 전력설비에 대한 내진설계 및 내진성능 평가 기술

송 종 결
강원대학교
건축·토목·환경공학부
교수
songj@kangwon.ac.kr

문 지 호
강원대학교
건축·토목·환경공학부
부교수
jmooon1979@kangwon.ac.kr

1. 서론

국내 전력설비에 대한 내진설계 지침서로는 송배전설비 내진설계 실무지침서(2021년)와 송배전설비 내진설계 인정 지침서(2022년) 등이 있다. 이 지침서를 기본으로 하여 국내의 송배전 관련 전력설비의 내진설계와 한전에서의 설비에 대한 내진검증 및 인증이 수행된다. 송배전설비 내진설계 실무지침서(2021년)는 내진설계 일반사항(KDS 17 10 00, 2018)이 제정되면서 이를 반영하기 위하여 개정되었다. 이 지침서의 주요 내용은 모든 송배전설비에 공통으로 적용되는 지진하중과 관련한 공통사항과 전력설비의 종류별 특성에 맞도록 내진설계 지침을 분류하여 변전설비, 송변전구조물, 배전설비, 지반구조물, 정착설계, 면진설계 등에 대한 내진설계 시 고려사항 등이 수록되어 있다. 또한 실무자들이 이 지침서를 보다 쉽게 이해하고 적용하도록 설비 종류별 특성에 맞게 예제집도 수록되어 있다.

2. 전력설비에 대한 내진설계 방법

전력설비에 대한 일반적인 내진설계 절차는 그림 2에 나타난 바와 같다.



그림 1. 송배전 설비의 분류 및 내진설계 대상구분

전력설비의 내진성능 수준은 기능수행과 붕괴방지 수준이 모두 만족되도록 내진설계 하여야 하며, 전력설비의 내진등급은 한전에서 정한 핵심 또는 중요설비의 요건에 맞게 정해놓은 등급에 맞춰서 설계하여야 하며 이는 인정지침서(2022년)를 참고하면 표 1과 같다. 지진하중이 그림 2와 같은 절차에 따라서 정해지면 전력설비의 지진해석방법은 주로 응답스펙트럼방법, 등가정적해석, 응답이력해석(시간이력해석) 중에서 선택하여 수행하게 되는데 전력설비의 본체의 해석모델은 주로 2차원 요소인 쉘요소와 3차원 요소인 솔리드 요소 등을 주로 사용하기 때문에 내진설계 만족여부를 응력수준에서 평가하게 되므로 허용응력설계법을 주로 사용하여 평가하는 것이 일반적이고, 전력설비의 지지부 고정을 위한 용접부와 앵커의 설계는 부재력을 기반으로 설계하기 때문에 한계상태 설계법을 주로 적용하는 것이 일반적이다. 그리고 전력설비를 이루는 부재별 재질이 다양하기 때문에 부재종류에 따른 허용응력을 정하는 것이 설계에서 중요한 부분

이므로 이는 관련 설계기준을 준용하며 보수적으로 정해야 한다.

전력설비의 본체의 지진해석은 주로 응답스펙트럼 방법을 많이 사용하고, 지점 고정부인 용접부와 앵커의 설계를 위한 해석은 등가정적해석을 주로 많이 사용한다. 그리고 전력설비는 그 구조상 부싱부를 포함하는 경우에는 부싱부의 안전을 평가하기 위하여 부싱부의 가속도 증폭비를 평가하게 된다. 이는 부싱부의 지진손상 형태가 변위민감형 보다는 가속도 민감형으로서 가속도가 어느 이상으로 증가하게 되면 취성과파괴가 발생하기 때문이다. 가속도 증폭비는 전력설비의 입력지진의 최대가속도에 대한 부싱부 가속도 응답의 최대값의 비로서 평가하게 된다. 이와 같이 부싱부의 가속도 증폭비 평가를 위해서 응답이력해석 방법을 주로 사용하며, 이 해석을 위하여 설계스펙트럼에 부합하는 인공가속도기록을 생성해서 사용하는 것이 일반적이다.

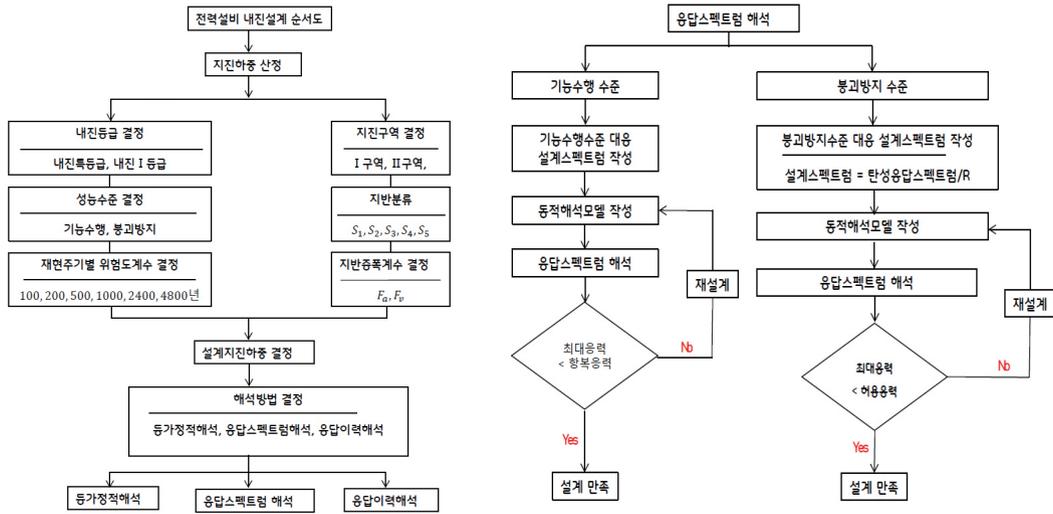


그림 2. 전력설비에 대한 내진설계 절차(응답스펙트럼 방법 적용시)

표 1. 전력설비 등급에 따른 내진성능 수준

내진성능수준	기능수행		즉시복구		붕괴방지		
	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

3. 전력설비에 대한 내진설계 및 내진성능 평가 적용 예

개정된 송배전설비 내진설계 실무지침에 근거하여 신설 전력설비의 내진설계와 기존 설비의 내진성능평가가 수행되고 있다. 현재 주로 평가작업이 진행되고 있는 설비는 가스절연개폐장치(GIS, Gas Insulated Switchgear)로는 25.8 kV GIS, 170 kV GIS, 170 kV 1.5CB GIS, 362 kV GIS 50 kA GIS, 362 kV GIS 63 kA GIS, 800 kV GIS 등이 있다. 고체절연 개폐장치(SIS, Solid Insulated Switchgear)로는 25.8 SIS등이 있다. 변압기로는 154 kV 고효율 단상 변압기, 154 kV 수냉식 3상 가스절연변압

기, 154 kV 풍냉식 3상 가스절연 변압기, 154 kV 고효율, 식물유 변압기, 345 kV 단상 변압기 등이 있다. 이와 같은 다양한 전력설비의 내진성능평가를 위한 모델링의 몇가지 대표적인 예는 그림 3에 나타난 바와 같다.

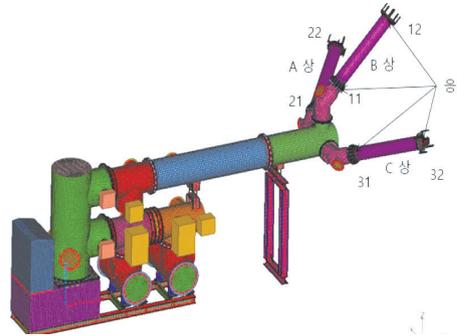
내진성능으로는 기능수행수준과 붕괴방지구준의 두가지 성능수준을 사용하여, 각각의 경우에 내진성능 만족여부를 체크하기 위한 허용응력수준을 기존의 관련 기준으로부터 합리적으로 평가하여야 한다. 붕괴방지구준에 대하여는 응답수정계수를 적용하여 지진하중을 낮춘 값을 적용할 수도 있고 이 경우에는 허용응력을 이에 맞는 정하여야 하며, 응답수정계수를 적용하지 않는 경우는 탄성거동

만을 허용하는 경우이므로 비탄성 거동을 유발하지 않아야 하므로 허용응력이 항복응력이 된다. 응답수정계수는 송배전내진설계 지침에 주어진 값을 사용하면 되지만, 응답수정계수가 적절히 적용되기 위한 전제 조건이 설비의 연성도 능력이 지진시에 충분히 발현이 되어야 한다. 이를 평가하기 위하

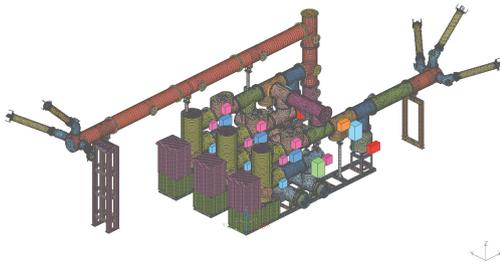
여 설비에 대한 특정한 하중패턴을 가진 정적하중을 점진적으로 증가시키며 비탄성 정적해석을 수행하는 방법인 pushover analysis를 수행하여 비탄성 힘-변위응답 관계를 구하는 이로부터 근사적으로 연성도 능력을 평가하고 적용된 응답수정계수가 적절한지를 평가하게 된다.



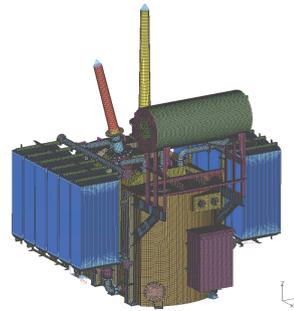
(a) 25.8kV GIS의 최소단위 유한요소해석모델



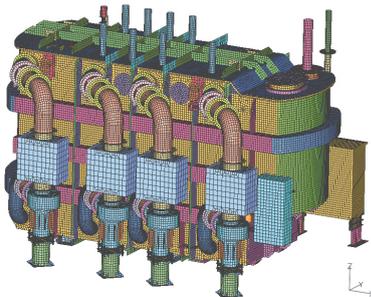
(b) 170 kV GIS에 대한 해석 모델링



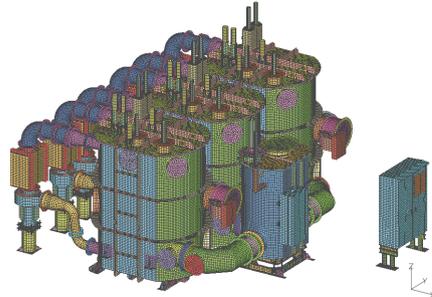
(c) 170 kV 1.5 CB GIS의 최소단위 해석모델



(d) 345kV 단상변압기 해석모델

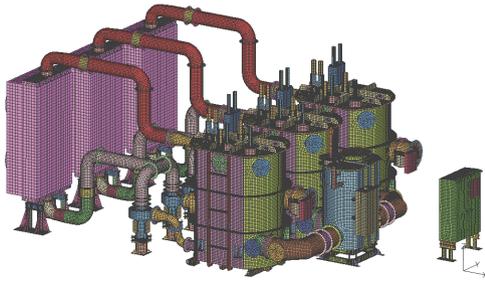


(e) 154kV 수냉식3상 가스절연 변압기

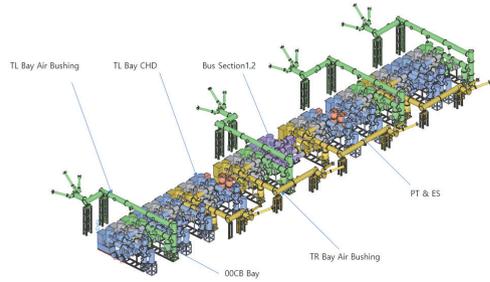


(f) 154kV 수냉식 가스절연 변압기

그림 3. 다양한 형식의 전력설비에 대한 유한요소 모델링 예 (계속)



(g) 154kV 풍냉식가스절연변압기



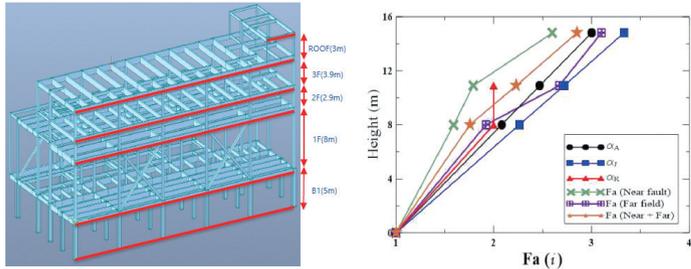
(h) 170 kV 1.5 CB GIS의 표준배치 해석모델

그림 3. 다양한 형식의 전력설비에 대한 유한요소 모델링 예

전력설비는 변전소 내부 또는 외부에 설치되는데, 변전소 내부에 설치되는 경우에는 설치되는 높이에 따라서 지진하중의 증폭되어 적용되어야 한다. 이를 반영하는 것이 구조물 내부증폭비로서 그림 4에 나타낸 바와 같다. 그림 4에 제시된 구조물 내부증폭비를 근거로 하여 한전에서 제시하는 구조물 내부증폭비는 그림 5에 나타낸 바와 같다. 전력설비의 지점부 설계는 주로 등가정적 해석을 사용하는데 이 경우에 해석을 위한 지진하중 산정에 기기증폭비와 내부 구조물증폭비 등이 최대지반가속도에 곱해진다. 또한 앵커 설계에서 초과강도계수도 필요로 하는데, 설비의 형식에 따른 기기증폭비와 초과강도계수는 그림 6에 제시되어 있다.

기기증폭비가 적절하게 사용되었는지를 평가하기 위하

국내 대표적인 7개 형식의 변전소 구조물에 지진해석을 통한 구조물 내부증폭비 평가



$$\text{제안식; } \alpha_B(\text{구조물 내부증폭비}) = 1 + \frac{2Z}{5H}$$

H = 밀면으로부터 구조물 최상층부의 평균높이, z=밀면으로 설비 부착점까지의 구조물 높이

그림 4. 변전소의 내부구조물 증폭비 평가의 예

- 육내변전소 설치 감산 내부 증폭비 적용(GIS 및 보호계전기) [지침서 2.3 참고]
- 변전소의 내부증폭비(운전중인 변전소 반영)

구 분		가스절연개폐장치			보호계전기
		25.8kV	170kV	362kV	
154kV	최대①	2.534	1.734	-	2.534
	최대②	2.462	1.704	-	2.462
	①②외 S/S	2.342	1.684		2.342
	현재표준(디지털)	1.084	1.684		1.684
345kV	비표준	1.032	2.064	2.213	2.345
증폭비 적용값 (구매규격에 제시)		표준(1.00) 최대(2.54)	최대(2.07)	최대(2.22)	최대(2.54)

* (표준) 25.8kV의 경우 154kV 디지털형 및 345kV 변전소 적용(1층 설치)

* (최대) 현재 운영중인 변전소의 최대 내부증폭비 적용

그림 5. 한전에서 제시한 설비 형식에 따른 구조물 내부 증폭비

해설 표 2.3.1 전력설비의 기기증폭계수, 응답수정계수 및 초과강도계수(ASCE 7-16, ASCE 43-05)

설비요소	증폭계수 α_A	응답수정계수 R	초과강도계수 Ω_0
전력설비			
주변압기 또는 분포리액터	2	2.5	2
컨트롤 판넬, 소내변압기 또는 유도전압조정기	2.5	2.5	2
변압기 부상	8	-	-
스커트지지로 지지되지 않은 엔진, 터빈, 펌프, 압축기 및 압력 용기	1	2.5	2
스커트지지로 지지되는 압력용기	2.5	2.5	2
발전기, 배터리, 인버터, 모터 및 고변형 재료로 구성된 전기부품	1	2.5	2
모터 컨트롤 센터, 패널 보드, 스위치 기어, 계기 캐비닛	2.5	6	2
취성또는좌굴파괴가예상되는기타설비	1	1.5	2

참고) 강제요소와 단단히 부착된 요소의 경우 $\alpha_A = 1$ 이며, 유연한 요소와 유연하게 부착된 요소의 경우 $\alpha_A = 2.5$ 이다. 상세한 동적해석에 의해 증명되는 경우 표에 규정된 값보다 더 낮은 α_A 를 사용할 수 있다. α_A 의 값은 1보다 작아서는 안 된다.

그림 6. 설비 형식에 따른 기기증폭계수, 응답수정계수 및 초과강도계수

여는 설비의 주요위치에서 설계스펙트럼에 부합되는 인공지진을 이용한 응답이력해석을 수행하고 이로부터 입력가속도에 대한 가속도응답의 비로서 가속도 증폭비를 평가하게 된다. 그림 6에 나타난 설계변수들은 설비를 대표하는 하나의 값으로 주어졌던 것으로서 경험적인 설계변수이다. 이를 해석적인 방법에 의해서 평가하는 방법은 현재로는 없지만 근사적으로 몇 가지 단순화한 해석을 통하여 추정하는 것은 가능하다.

4. 맺음말

전력설비는 일반적으로 진동 특성이 대략 7 Hz 이상의 고진동수를 가지므로, 지진의 진동수 성분이 저진동수 성분 보다 고진동수 성분을 많이 가진 지진에 대하여 취약할 수 있다. 전력설비에 대한 내진설계 및 내진성능 확보는 국가의 기간설비로서 이 설비의 지진손상에 따른 전력차단은 매우 엄중한

국가적 손실을 야기하므로 이에 대한 대비는 꾸준히 지속되어야 할 것이다. 

참고문헌

1. ASCE (2017) Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16).
2. IEEE-693 (2018) Recommended Practice for Seismic Design of substations.
3. Korea Electric Power Corporation (2021) Seismic Design Guidelines for Transmission and Substation Facilities, Korea Electric Power Research Institute.



HVDC 변환설비의 내진설계 요구사항에 대한 소고

문지호
강원대학교
건축·토목·환경공학부
부교수
jmoon1979@kangwon.ac.kr

송종걸
강원대학교
건축·토목·환경공학부
교수
songj@kangwon.ac.kr

1. 서론

초고압직류송전(HVDC)은 1930년대부터 개발되기 시작한 오래된 기술로서 장거리 송전에 따른 전력소모를 줄이는 데 특화된 것이다. 보통 발전기에서 생산된 교류전기는 변압이 수월하다는 장점이 있지만 송전할 때 손실되는 전력량이 직류에 비해 많다는 단점도 있다. 이에 장거리 송전 시에는 전력손실이 적은 직류를 활용하고, 생산과 소비 시에는 교류를 활용해 최적의 활용법을 찾는 것이다. 또한, HVDC는 전자파가 발생하지 않아 환경 영향이 적다는 장점도 있다. 최근 국내에서도 초고압직류송전(HVDC)에 대한 관심도 증가하고 있으나 국내에는 HVDC 변환설비에 대한 내진성능 요구사항에 대한 기준은 없는 실정이다. 본 기사에서는 HVDC 변환설비의 내진성능 평가를 위한 요구사항들에 대하여 국내외 관련 자료를 참고하여 정리하였다.

2. 변환설비 특성 및 주요 관련 설계기준 현황

변환설비는 다양한 리액터(Reactor) 및 밸브(Valve) 외에 여러 가지 설비들이



그림 1. 상부 고정형(좌) 및 하부 고정형(우) 밸브

있으며 여러 형태의 경계조건 및 설비고유의 특성을 가지고 있다. 그림 1은 상부 및 하부 고정형 밸브의 예시를 보여주며 구조상으로 이 둘은 전혀 다른 거동을 함으로 설비의 특성을 적절히 고려하여 내진설계를 수행하여야 한다.

변환설비의 주요한 재료로는 강재와 전열체(Insulator)가 있으며 절연체로는 복합재(Composite material)가 주로 사용된다. 부싱의 경우 속이 빈 Hollow type insulator가 사용되는 반면에 변환설비에 사용되는 절연체는 주로 Solid type insulator가 사용된다.

문헌조사 결과 변환설비의 내진설계에 특정하여 사용될 수 있는 설계기준은 따로 없는 것으로 나타났다. 다만, 국내법 상 국내에 건설되는 변환설비의 경우 ‘내진설계기준 공통적용사항(2017)’이 적용되어야 함으로 성능수준, 지진구역, 지반분류, 설계 응답스펙트럼은 내진설계기준 공통적용사항의 기준이 적용되어야 한다.

‘내진설계기준 공통적용사항(2017)’은 전력설비에 특화되어 있지 않기 때문에 어떠한 성능수준을 적용하여야 하는지 불명확하다. 이 때 참조를 할 수 있는 것은 ‘송배전설비 내진설계 실무지침서

(2021)와 송배전설비 내진설계 인정시험 지침서(2022)’이다. 하지만, 위의 기준은 AC를 기준으로 설정한 것이므로 DC 변환설비의 전압 구분에 따른 추가적인 고려가 필요하다. 따라서, 변환설비의 경우 AC와 동일 수준의 전압 구분에 따른 내진등급을 산정하고 ‘내진설계기준 공통적용사항(2017)’에 따라 설계스펙트럼을 적용할 수 있을 것

으로 판단된다.

변환설비에 특정하여 내진설계(혹은 내진성능평가)를 수행할 수 있는 대표적인 기준으로는 IEEE 693(2018)이 있다. IEEE 693에서는 ANNEX V에 DC equipment에 대한 기준을 규정하고 있다. 이 밖에 변환설비에 자주 사용되는 Solid type insulator의 경우는 IEC 61952(2008)에 재료에 대한 허용기준이 명시되어 있다. 정리하면 변환설비의 내진설계는 IEEE 693의 ANNEX V를 준용하되 내진등급 및 지진 하중 등은 한전의 송배전설비 내진설계 실무지침서(2021)와 송배전설비 내진설계 인정시험 지침서(2022)를 사용하는 것이다. 이러한 문헌들을 기준으로 변환설비 내진설계 지침서 요구사항을 정리하면 다음과 같다.

3. 변환설비 내진설계 요구사항(안)

3.1 지진하중

내진 등급은 송배전설비 내진설계 실무지침서(2021)를 따르며 전압에 따른 구분은 DC의 경우

AC에 대응하는 전압을 적용한다. 설비의 내진성능 수준은 기능수행과 붕괴방지이다. 이 밖에 송배전 설비 내진설계 실무지침서(2021)의 적용 사항은 다음과 같다 : 설계지진의 수준지반의 분류, 유효 수평지반가속도, 지반증폭계수, 표준설계스펙트럼, 설계지진시간이력, 등가정적해석, 선형지진해석, 비선형지진해석.

3.2 적용 범위 및 하중조합

변환설비의 분류는 IEEE 693에 따라 그림 2와 같이 정한다.

각 설비는 Reference에 적힌 Annex 혹은 Table V.2의 방법에 따라 내진성능을 평가한다. 내진성능 평가 방법은 크게 3가지로 구분되며 정정해석, 동적해석(응답스펙트럼 해석) 및 진동대 실험이 있다. 각 설비 별로 전압의 낮은 경우 내진성능 검토를 수행하지 않는 경우가 있으나 국내 실정에 맞도록 검토가 필요하다.

하중조합은 LRFD 혹은 ASD 방법을 사용할 수 있다. 부재력 혹은 강도 기반의 검토에는 LRFD, 응력 기반 검토에는 ASD를 적용한다.

Type	Substation category	Reference
DC transformers and liquid filled dc reactors	HVDC/FACTS	Annex D
DC wall / dc roof bushings	HVDC/FACTS	Annex D
DC disconnect switches / dc grounding switches	HVDC	Annex E
DC air core reactors / smoothing reactors	HVDC	Annex G
DC high speed switches	HVDC	Annex C
DC surge arresters / voltage dividers	HVDC	Annex K
DC filters		
7.1 DC filters towers	HVDC	Table V.2
7.2 Capacitor cans	HVDC	Table V.2
HVDC converters		
8.1 Valve towers	HVDC	Table V.2
8.2 Valve modules	HVDC	Table V.2
9. SVC converters		
9.1 Converter racks	FACTS	Table V.2
9.2 Power modules	FACTS	Table V.2
10. Cooling systems		
10.1 Cooling and protection cubicles	HVDC/FACTS	Annex L
10.2 Piping	HVDC/FACTS	Table V.2
10.3 Pump skids	HVDC/FACTS	Table V.2
10.4 Coolers	HVDC/FACTS	Table V.2
11. Control systems	HVDC/FACTS	Annex L

그림 2. 변환설비 분류 및 설계 레퍼런스

3.3 구조해석

설비 본체의 응력 평가를 위하여 기본적으로 3차원 유한요소해석 모델을 기반으로 한다.

3.4 허용기준

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. 자세한 성능수준에 따른 연성 구조부재의 허용기준은 송배전설비 내진설계 인정 시험 지침서(2022)에 나타나 있다.

IEC 61952에서는 Soli type의 복합재 절연체의 SCL(Specific cantilever load)을 정의하고 있다. 일반적으로 지진 시 절연체 기능에 문제가 없기 위하여는 제조사에서 제공하는 MDCL(Maximum design cantilever load)를 사용하여야 하며 이 값이 특별히 제공되지 않는 한 SCL의 50%를 사용한

다. 복합재 절연체의 경우 붕괴방지 및 기능수행에서 탄성을 유지하여야 하는 것으로 DS-0050에서 규정하고 있으므로 허용 기준은 $MDCL = 0.5SCL$ 로 하는 것이 바람직하다.

세라믹(Porcelain) 계열의 절연부재는 IEC 62155를 따라 허용응력을 결정할 수 있다. IEC 62155에서는 휨

실험을 통하여 MFL(Mechanical failing load)을 결정하도록 하고 있으며 MFL은 휨실험 후 세라믹 절연부재에 균열과 같은 파손이 발생하지 않는 하중을 의미한다. 따라서, MFL을 활용하여 허용응력을 산정할 수 있다. DS-0050에 따라 기본적으로 부상은 붕괴방지 수준에서도 손상이 없어야 함으로 보수적으로 기능수행과 붕괴방지수준 모두 세라믹 절연부재는 MFL을 활용한 단일의 허용기준을 사용할 수 있다.

3.5 정착부 설계

정착부는 용접 혹은 앵커로 이루어지며 용접과 앵커의 경우 각각 KDS 14 31 25(2019)와 KDS 14 20 54(2021)을 사용하여 설계한다.

4. IEEE에 따른 변환설비 별 내진설계 방법

4.1 Annex C

Annex C는 Circuit breakers에 대한 내용으로 전압에 따라 서로 다른 내진검증 방법을 규정하고 있다. Circuit breakers에 의 경우 38 kV 미만은 내진검증을 수행하지 않으며 38 kV 초과, 123 kV 미만은 정적해석에 의한 방법으로 검증을 수행한다. 123 kV ~ 170 kV는 동적해석, 그 이후는 실험적 검증 방법을 통하여 내진성능을 평가한다.

4.2 Annex D

Annex D는 Transformers and liquid-filled reactors에 대한 내진성능 평가 방법을 규정하고 있다. 34.5 kV 미만은 내진성능 평가를 수행하지 않고

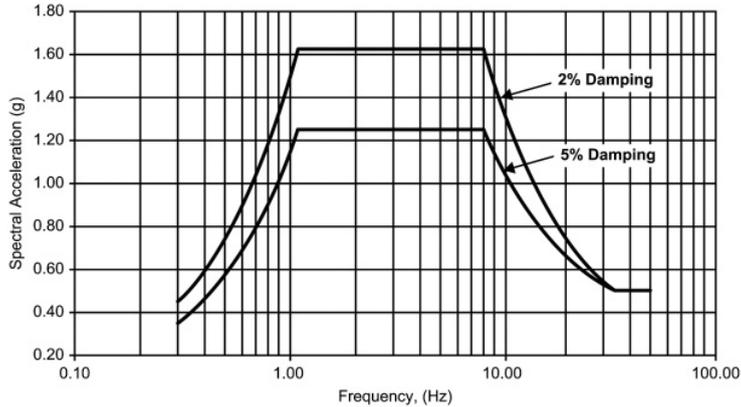
그 이상의 전압에 대하여 정적해석 방법에 의한 내진성능 평가를 수행하도록 규정하고 있다.

참고로 IEEE 693에서 규정하고 있는 정적해석 개요는 다음과 같다. 정적해석을 위하여 질량 중심에 수평 및 수직 가속도를 작용하여 최대 응답을 도출하고 이를 통하여 내진성능을 평가한다. IEEE 693에서는 performance level의 경우 수평은 0.5g, 수직은 0.4g를 적용하고 design level의 경우 수평은 0.25g, 수직은 0.2g를 입력하여 해석을 수행하도록 하고 있다. 하지만, 앞의 일반사항에서도 설명하였듯이 국내는 법규 상 내진설계기준 공통적용사항(2017)을 적용하여야 함으로 위의 값을 그대로 적용할 수 없으며 내진성능에 부합하는 국내의 지진 가속도를 사용하여야 할 것으로 판단된다.

4.3 Annex E

Annex E는 Disconnect and grounding switches에 대한 규정이다. Disconnect and grounding switches에 대하여도 전압에 따라 각기 다른 방식으로 내진성능 검토를 하도록 규정하고 있으며 그 범위는 Circuit breakers와 같다. 정적해석 방법은 앞서 설명을 하였으므로 여기는 동적 해석 방법에 대하여 설명한다.

동적해석은 기본적으로 스펙트럼해석을 수행하는 것을 의미한다. 내진등급에 따라 High 또는 moderate performance level을 선택할 수 있으며 design level에서는 performance level의 50%를 사용한다. 그림 3은 IEEE 693의 moderate performance level의 스펙트럼을 나타낸다. 이 또한 앞서 설명하였듯이 국내의 내진 등급 및 설계스펙트럼이 IEEE 693과는 다르므로 이를 고려하여 설계 스펙트럼은 내진설계기준 공통적용사항(2017)을 준용하여야 할 것으로 판단된다.



Spectral Accelerations, S_a (g), for Frequencies, f (Hz):

$S_a = 1.144 \beta f$	for $0.0 \leq f \leq 1.1$
$S_a = 1.25 \beta$	for $1.1 < f \leq 8.0$
$S_a = (13.2 \beta - 5.28) / f - 0.4 \beta + 0.66$	for $8.0 < f \leq 33$
$S_a = 0.50$	for $f > 33$

$\beta = (3.21 - 0.68 \ln(d)) / 2.1156$ where d is the percent damping (2, 5, 10, etc.) and $d \leq 20\%$

그림 3. IEEE 693에 따른 moderate performance level 스펙트럼

4.4 Annex G

Annex G는 Air core reactors에 대한 설계기준이다. 다른 설비와 유사하게 전압에 따라 내진설계 방법을 분류를 하고 있다. 35 kV 미만은 내진성능검토를 하지 않으며, 35 kV 이상 115 kV 미만은 정적인 방법을 사용한다. 115 kV 이상의 경우 동적해석을 사용하여 내진성능 평가를 수행한다.

4.5 Annex K

Annex K는 Surge arresters에 대한 설계기준이다. 다른 설비와 유사하게 전압에 따라 내진설계 방법을 분류를 하고 있다. 35 kV 미만은 내진성능검토를 하지 않으며, 35 kV 이상 54 kV 미만은 정적인 방법을 사용한다. 54 kV~90 kV의 경우 동적해석을 사용하여 내진성능 평가를 수행하고 그 이상의 전압에 대하여는 진동대 실험을 수행하여야 한다.

4.6 Annex L

Annex L은 Substation electronic devices, distribution panels and switchboards, and solid-state rectifiers에 대한 내진검토 방법을 규정하고 있다. Annex L의 대상은 그림 4와 같으며 변환설비 중 cooling and protection cubicles는 본 기준을 따라 내진성능 검토를 수행한다.

These requirements are applicable to the following substation electronic devices (SEDs):

- a) Remote terminal units (RTUs)
- b) Digital fault recorders (DFRs)
- c) Sequence of events recorders (SERs)
- d) Intelligent electronic devices (IEDs)

These requirements are also applicable to distribution panels and switchboards for ac and dc power and solid-state rectifiers for battery charging.

Seismic qualification levels are given in L.1.2 through L.1.4.

그림 4. Annex L 적용범위

Type	Method	Acceptance criteria
DC filters		
7.1 DC filter towers	Dynamic analysis	A.2.1
7.2 Capacitor cans	Dynamic analysis	A.2.1
HVDC converters		
8.1 Valve towers	Dynamic analysis	A.2.1
8.2 Valve modules	Performance level time history shake-table test	A.2.2
SVC converters		
9.1 Converter racks	Dynamic analysis	A.2.1
9.2 Power modules	Performance level time history shake-table test	A.2.2
Cooling systems		
10.2 Piping	Dynamic analysis	A.2.1 (see NOTE 1)
10.3 Pump skids	Dynamic analysis	A.2.1 (see NOTE 2)
10.4 Coolers	Dynamic analysis	A.2.1 (see NOTE 2)
NOTE 1—Nominal loads from the appropriate code should be considered in combination with the seismic loads.		
NOTE 2—While both earthquake loads and acceptance criteria are determined from this recommended practice, normal operating loads may be referenced from other appropriate codes and should be combined as specified in A.2.1.		

그림 5. IEEE 693에 따른 4.1-4.6 대상 외의 검증방법

4.7 Table V.2

그림 2는 규정되어 있는 설비 중 A.1~A.6에 해당하지 않는 설비는 그림 5와 같이 따로 내진성능검토 방법을 규정하고 있다.

대부분 동적해석을 요구하고 있으며 Valve module과 Power module은 performance level의 진동대 실험을 하도록 규정하고 있다. 여기서 performance level은 국내의 붕괴방지 수준과 유사하므로 이에 대응하는 진동대 시험을 수행하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

동적해석 및 진동대 실험을 통하여 설비의 동적 응답을 파악하고 이를 허용기준과 비교하여야 한다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 동적해석은 Design level에서 수행하는 것으로 판단된다. 그 이유는 그림 5에서 동적해석에 대응하는 허용기준(Acceptance criteria)는 A.2.1이고 이는 Design level에 대한 허용기준이기 때문이다. Performance level의 진동대 실험을 수행하는 경우 허용기준은 A.2.2로 이는 일반적인 Performance level에서의 허용기준이다.

A.2.1과 A.2.2에 규정되어 있는 허용기준은 다음과 같다. 기본적으로 Performance level은 붕괴방지 수준과 유사하다. Design level은 Performance level의 산술적인 50% 수준을 의미함으로 국내의 기능

수행과는 차이가 있어 적용에 주의가 필요하다. 허용기준을 살펴보면 Performance level에서는 설비의 강도(혹은 최대응력)를 기준으로 허용기준이 기술되어 있으며 Design level은 Performance level의 50% 수준임을 알 수 있다.

5. 맺음말

본 연구에서는 문헌조사를 통하여 HDVC 변환설비의 내진성능 평가를 위한 요구사항을 도출하였다. 향후 이렇게 도출된 요구사항은 향후 관련 연구 수행 및 기준 작성 시 기초 자료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 

참고문헌

1. 행안안전부 (2017), 내진설계기준 공통적용사항.
2. 한국전력 (2021), 송배전설비 내진설계 실무지침서.
3. 한국전력 (2022), 송배전설비 내진설계 인정시험 지침서.
4. IEC (2008), IEC 61952.
5. IEEE (2018), IEEE Std. 693.
6. KDS 14 3125 (2019), 강구조연결설계기준.
7. KDS 14 20 54 (2021), 콘크리트용 앵커 설계기준.

재난 및 항공 체류객 지원 대응 Safe Space In Jeju 구축



정창삼
인덕대학교
스마트건설방재학과
교수

안현준
인덕대학교
산학협력단 선임연구원

김재경
광명디앤씨 주식회사
이사

황형주
에이엠스퀘어 주식회사
대표이사

1. 사업배경

제주도는 유네스코가 지정한 세계자연유산에 등재될 만큼 신비로운 자연경관과 더불어 독특한 문화를 지니고 있는 국내는 물론 전세계적으로 유명한 관광지이다. 제주특별자치도관광협회에 따르면 제주도는 2022년 기준 한 해 내·외국인 관광객 방문자 수가 약 1,389만명에 달하는 것으로 알려져있다(제주특별자치도관광협회, 2023). 이러한 제주를 방문하기 위한 교통수단으로는 항공과 선박이 있다. 제주관광공사에 따르면 2022년 기준 제주 운항편 항공기 수는 약 17만여대로 집계되고 있으며 항공기를 이용하여 제주에 방문한 여객 수는 각각 약 2,750만여명(왕복기준)으로 알려져있다. 반면 여객선을 이용하여 제주에 방문한 여객의 수는 약 87만여명에 그치는 것으로 집계 되었다(제주관광공사, 2023). 이와같은 통계수치를 검토해보면 제주를 방문하는 대부분의 여객들은 항공을 이용하여 제주를 방문하는 것을 알 수 있다.

이러한 제주의 실질적인 주요 관문이라할 수 있는 제주국제공항에서는 2016년 1월에 제주지역에 32년 만에 내린 폭설로 인해 항공기가 무더기로 결항되고 공항 내 모든 시스템이 마비된적이 있었다.

그 결과로 공항 내 8만명에 이르는 체류객이 공항 내에서 노숙을 하는 등 안타까운 사태가 발생된바 있다. 이 사건을 통해 제주특별자치도와 한국공항공사 제주

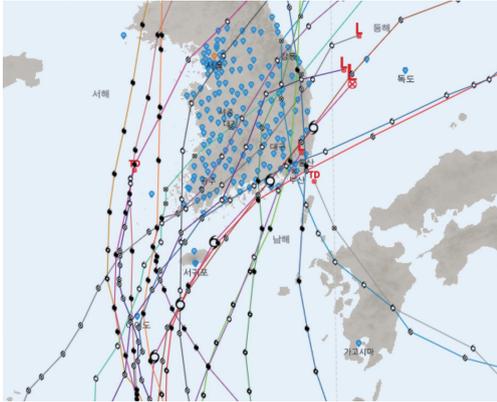


그림 1. 최근 10년 태풍 이동 경로 - 출처, 기상청 날씨누리

본부에서는 폭설과 같은 자연재해 발생 시 대처할 수 있는 매뉴얼을 제작하게 되었고, 이후 제주특별자치도에서는 최첨단의 실시간 정보통신 기술(IT)을 활용하여 제주국제공항에서 재난발생 등으로 인해 체류객 발생 시 이를 신속하게 대응하고 지원하여 체류객을 해소시키는 방안을 마련하기로 하였다. 제주특별자치도는 2020년 ‘재난 및 항공 체류객 지원 대응 Safe Space in Jeju’ 사업을 위한 연구개발에 나섰다

행정안전부가 주관하는 ‘지역 맞춤형 재난 안전 문제 해결 연구·개발 지원사업’ 공모에 선정되어 2023년 까지 과업을 수행하게 되었다.

2. 연구개발과제의 개요

2.1. 연구개발과제의 정의 및 범위

재난 및 항공 체류객 지원 대응 Safe Space in Jeju 구축 과업을 수행하기 위해서 연구개발기술 1 차년도에는 공항사태 대응 통합관리를 위한 플랫폼 디자인 개발을 수행하였다. 먼저 공항사태와 관련하여 정보를 수집하고 분석을 수행하기 위해서 기술 개발을 수행하였다. CPS(Cellular Positioning System) 기술을 활용한 공항 내 이용객 밀집도 분석 체계를 구축하였으며 이를 인증 기관을 통해 밀집도 분석체계에 대한 검증을 받았다. 또한 유관기관과의 협력을 통해 공항사태와 관련한 정보수집 체계를 구축하였다.

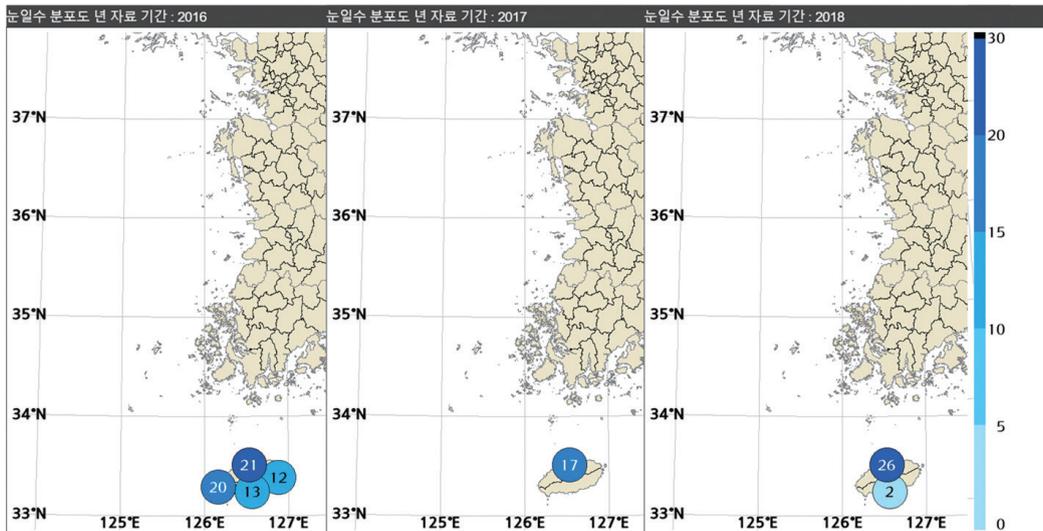


그림 2. 2016~2018년 제주도 눈일수 - 출처, 기상청 기상자료포털 기상현상일수



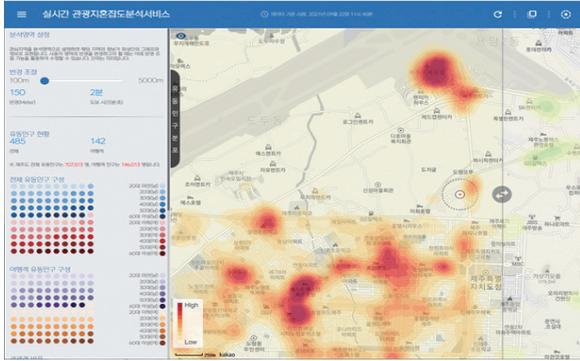
두 번째로는 체류객 의사결정 지원을 위한 통합 정보제공 서비스를 개발하였고 이를 위한 재난상황 관계 시작품을 개발하였다. 또한 사태발생시 공항에서 대응해야하는 행동요령 및 관련 매뉴얼 업데이트 및 정책지원을 수행하였다. 2차년도에는 공항사태 대응을 위한 통합관리 플랫폼의 구축 및 이에 대한 실증 연구가 수행되었다. 1차년도에 구축된 자료수집분석 체계를 고도화하여 이를 통해 공항사태 관련 정보수집 및 분석 체계를 확대하고 해당 서비스에 대한 실증 작업을 수행하였다. 또한 체류객의 의사결정 지원을 돕는 통합 정보제공 서비스를 확대 수행하였다. 이러한 연구를 성공적으로 수행하기 위한 세부 기술개발 내용으로는 CPS 기술 활용 공항 이용객 밀집도 분석 기술, 공항사태 관리를 위한 통합 DB관리운영 시스템 플랫폼, 재난상황관제용 통합시스템 구축, 현장지원 운영시스템, 체류객 의사결정 지원 정보제공 서비스 등이 있다. 앞서 언급된 연구개발기술에 대한 연차별 정의 및 기술개발목표는 아래 표 1의내용과 같다.

2.2 연구개발과제의 차별성

본 연구과제에서는 기존 연구기술개발사업과 비교해보았을 때 가장 두드러지게 나타나는 차별점으로 CPS기술을 활용한 밀집도 분석 기술을 꼽을 수 있다. 기존에도 공항 및 주변지역에 대한 혼잡도 분석을 수행하는 서비스는 존재하였으나 본 연구개발과제에서 수행한 결과는 CPS기술을 활용하여 공항 건물 구조 및 층별 섹터 구간에서의 혼잡도를 파악하여 관련 시스템과 기관에 해당 정보를 공유할 수 있는 점이 대표적인 차이점이라고 할 수 있다. 따라서 기존에는 혼잡도라는 개념을 1차원 평면상으로만 시각화하여 전달하는 것이 가능하기 때문에 공항의 구조를 고려하고 공항의 층별, 공간기능별 혼잡도를 분석하는 것이 어렵지만 본 연구개발과제를 통해 도출된 기술은 층별/섹터별 실시간 혼잡도를 파악하고 특히 버스/택시승차장 혼잡도의 경우 제주교통정보센터와 연계가 가능한 기능을 구현한 것이 매우 큰 차별점이라고 할 수 있다.

표 1. 연구개발기술 연차별 정의

[1차년 : 공항사태 대응 통합관리 플랫폼 디자인 개발]	[2차년 : 공항사태 대응 통합관리 플랫폼 구축 및 실증]
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 공항사태 관련 정보수집 분석체계 구축 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - CPS 활용한 공항 내 이용객 밀집도 분석체계 구축 - 인증 기관을 통한 밀집도 분석체계 검증 - 유관기관 협력을 통한 공항사태 관련 정보수집 - 공항사태 관련 수립 플랫폼 시작품 구축 ▶ 체류객대응 재난관리 서비스 디자인 개발 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 재난상황관제 시작품 개발 ▶ 체류객 의사결정 지원을 위한 통합 정보제공 서비스 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 범위 지정 온라인 정보 관리 시스템구축 ▶ 행동요령/매뉴얼 업데이트 정책지원 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 공항사태 관련 정보수집-분석 체계 확대 및 서비스 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 1차년도 수집분석체계 고도화 - 체류객대응 재난관리 서비스 구축 및 실증 - 유관기관 요구사항을 반영한 재난상황관제 개발 ▶ 체류객의 의사결정 지원을 위한 통합 정보제공 서비스 확대
[기술개발 목표]	
<ul style="list-style-type: none"> • CPS 기술 활용 공항 이용객 밀집도 분석 기술 • 공항사태 관련 통합 DB 관리운영 시스템 플랫폼 • 제주공항 체객지원 시스템, 제주공항 체류객 정보시스템 	

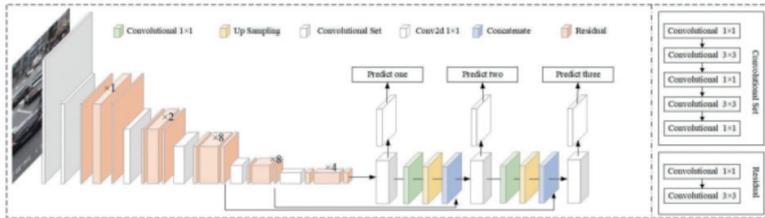


제주관광공사가 제공하는 1차원 혼잡도 서비스

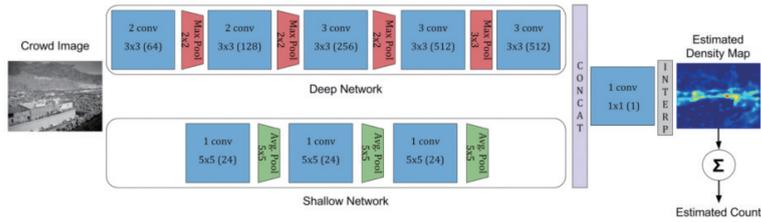


본 연구과제의 다차원 혼잡도 분석 시스템

그림 3. 연구개발과제의 혼잡도 분석 기술의 차별성



< YOLO의 구조 >



< CrowdNet의 구조 >

그림 4. 밀집도 분석을 위한 알고리즘 구조(위: YOLO, 아래: CrowdNet 알고리즘 구조)



그림 5. 현장실사 및 공항청사 층별 밀집도 시각화(좌: 1층, 중: 2층, 우: 3층)



또한 공항 내 혼잡도 산정 기술의 신뢰도 확보를 위해 다양한 인공지능 및 컴퓨터 비전 기술을 활용하여 실시간 선별 모니터링 알고리즘을 적용하였고 현장 실사 및 시뮬레이션 검증을 통해 공항청사 실내 밀집도의 시각화 기능 구현의 결과를 검증하였고 공인된 기관(한국시험인증원, KOTCA)을 통해 관련 기술에 대한 객관적인 기술 신뢰도 검증을 마쳤다.

3. 재난 및 항공 정보제공 시스템

재난 및 항공 체류객 지원 대응 Safe Space In Jeju는 제주공항에 재난(폭설, 태풍 등) 발생 시 상황판단부터 현장지휘의 활동계획까지 재난대응체계에서 요구하는 현장 의사결정 및 체류객 결정단계에 ICT 기반을 이용한 재난대응 의사결정지원



(a) 체류객정보제공시스템



(b) 체객지원시스템

그림 6. Safe Space In Jeju 플랫폼 구성



그림 7. Safe Space In Jeju 통합플랫폼 서비스 운영시나리오

시스템이라고 할 수 있다. 제주특별자치도 및 제주공항공사 등 재난발생시 상황판단 및 상황전파 임무를 수행해야하는 기관에게는 현장에서 임무를 맡은 요원들에게는 상황을 보고하고 현장을 점검하며 피해 조사를 수행하는데 유효한 체류객지원시스템에서 제주공항 유관기관 운영 및 지원인력 대상 서비스, 청사 내 주요 정보 표출 관리 등 현장지원을 위한 정보를 제공하고 있다. 또한 공항을 이용 중인 체류객에게는 체류객정보제공시스템을 통해 국내선 운영 중심 대민 서비스, DashBoard 타입 항공편 조회, 국내선 청사 층별 혼잡도, 지원물품 정보제공, 주변 숙박, 의료, 교통 등 정보를 제공함으로써 체류객 의사결정 지원을 도모하는 통합 정보제공 서비스를 웹(Web) 또는 앱(APPz) 접속방식으로 구축하였다.

통한 재난 대응력 향상으로 인해 제주특별자치도를 방문하는 내/외국인들의 피해가 최소화 될 것으로 기대되며, 이를 관리하고 활용하게 될 제주특별자치도 및 제주공항공사 등은 재난 대응에 대한 비용 절감과 더불어 재난에 대응하는 방재시스템을 갖춘으로써 긍정적인 이미지와 신뢰도 제고를 통한 방문객 유치 확대가 이루어질 것으로 기대된다. 또한 추후 다양한 서비스로의 연계 확장 가능성을 대비해두었기에 앞으로 ICT 산업과 관련된 신산업을 발굴하고 해외 기술 이전이 가능할 것으로 예상된다. 끝으로 이러한 시스템연구개발에 대한 투자가 앞으로도 꾸준히 지속되어 재난에 대해 신속한 대응과 복구가 이루어질 수 있고 이를 통해 국민 안전에 기여하고 국가 방재시스템이 보다 견고해질 수 있기를 기대해본다.

4. 맺음말

재난 및 항공 체류객 지원 대응을 위해 구축된 Safe Space In Jeju 시스템을 통해서 능동적 재난관리를

감사의 글

이 기고문은 행정안전부 지역맞춤형 재난안전 문제해결 기술개발 지원(지역특화형 재난안전 연구지원)사업의 지원을 받아 수행된 연구임(20017532)

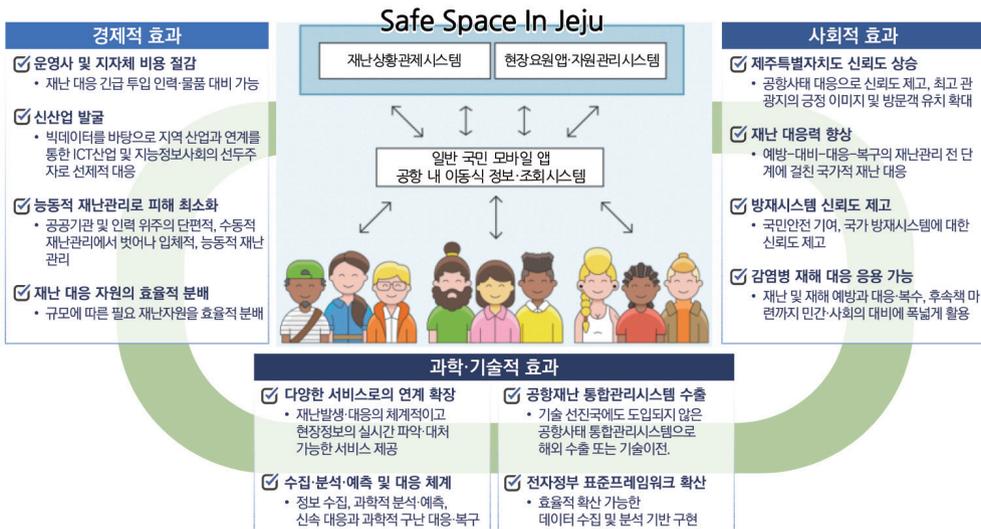


그림 9. 재난 및 항공 체류객 지원 대응 Safe Space In Jeju 구축사업을 통한 기대효과

| 한국방재학회 신입회원 |

NEW MEMBERS

No.	회원번호	회원명	회원구분	소속	부서	직위	추천인
1	5958	윤영배	평생회원	울산연구원	미래도시연구실	연구위원	
2	5959	김경주	평생회원	(주)로드키네마틱스		대표이사	박무중
3	5960	방은석	정회원	한국지질자원연구원	광물자원연구본부 자원탐사개발연구센터	책임연구원	여창건
4	5961	이상열	평생회원	안동대학교	토목공학과	조교수	박종섭
5	5962	변임규	정회원	부산대학교	환경기술산업개발연구소	교수	
6	5963	지광습	정회원	고려대학교		정교수	
7	5964	송우승	정회원	사단법인 도시생명네트워크	도시안전연구소	상임이사 / 연구위원	송재우
8	5965	박영준	정회원	육군사관학교	토목공학과	교수	여창건
9	5966	이덕희	정회원	한국철도기술연구원	철도안전연구팀	책임연구원	
10	5967	박 봄	정회원	한국해양과학기술원	해양신산업연구본부	책임	한택희
11	5968	이한복	평생회원	GS건설	중부지사	책임	
12	5969	이건호	정회원	태산전자		연구소장	
13	5970	곽준혁	학생회원	울산대학교	지오시스템연구실	학부연구생	
14	5971	변영환	정회원	(주)영광이엔씨		대표이사	이주하
15	5972	이상화	정회원	행정안전부	지진방재관리과	주무관	
16	5973	오재엽	정회원	울산대학교	건설환경공학부	석사과정	
17	5974	최진은	정회원	울산대학교		석사과정	
18	5975	윤경민	정회원	울산대학교	지오시스템연구실	석사과정	
19	5976	조성준	정회원	울산대학교	건설환경공학과	석사과정	
20	5977	박형기	정회원	위니아전자		팀장	
21	5978	이유림	정회원	호서대학교		박사과정	
22	5979	신준호	정회원	한국전자기술연구원	스마트제조연구센터	책임연구원	
23	5980	구윤정	정회원	한국전자기술연구원		연구원	
24	5981	김형아	정회원	제주대학교	행정학과	교수	박창열
25	5982	강재도	정회원	서울기술연구원		수석연구원	이태형

| 한국방재학회 신입회원 |

No.	회원번호	회원명	회원구분	소속	부서	직위	추천인
26	5983	박성철	정회원	한양대학교		박사과정	
27	5984	이가윤	정회원	세종대학교	건축공학과	박사후연구원	이기학
28	5985	강태욱	정회원	경상국립대학교		석사과정	
29	5986	안효서	정회원	세종대학교	건축공학과	석사과정	이기학
30	5987	채지용	정회원	한국건설기술연구원		수석연구원	
31	5988	허병욱	정회원	한국건설기술연구원	건축연구본부	연구위원	
32	5989	성연정	평생회원	경북대학교 재난대응전략연구소		박사후연구원	
33	5990	송은지	정회원	부경대학교 슈퍼컴퓨터센터		박사후연구원	
34	5991	김승환	평생회원	한국공항공사	A/S 운영부 구조소방센터	사원	
35	5992	한동훈	정회원	국립소방연구원		연구실장	
36	5993	김지웅	정회원	(주)온스트림		책임매니저	박병직
37	5994	김문식	학생회원	인천대학교		대학생	
38	5995	허창재	정회원	경상국립대학교		석사과정	
39	5996	김범준	정회원	(주)더이앤씨		이사	

한국방재학회에 입회를 원하는 분은 학회 홈페이지에서 회원으로 가입해 주시기 바랍니다.
 향후, 이사회의 승인을 득한 후 입회가 확정됩니다.

- 정회원은** 방재과학기술에 관련한 과목을 이수한 전문대학 이상을 졸업한 사람, 또는 전문대학을 졸업하고 관련분야 경력이 2년 이상인 사람들이 되며, 또한 본회 이사회에서 자격이 인정된 사람들이 된다. 정회원은 학회의 임원 선출에 관한 추천권을 포함하여 회원으로서의 모든 권한을 가진다.
- 학생회원은** 전문대학 또는 대학교에서 관련학과를 전공하는 재학생들이 되며 임원 선출에 관한 추천권은 가지지 못한다. 학생회원은 재학중인 학교를 졸업한 후에는 정회원으로의 자격변경 신청을 하여야 한다.
- 특별회원은** 한국방재학회의 설립취지와 목적에 찬동하는 방재과학기술과 관련된 관공서, 학회, 단체, 도서관 및 이와 관련된 사업을 영위하는 법인이 가입할 수 있다. 특별회원은 재해 영향평가 특별자문, 재해 사전점검 및 계획자문, 방재시설물 계획 및 시공 설계 자문, 건설안전자문, 기술 교육 등에 최우선 배려와 학회 광고 게재료 할인 및 학회지 배포 등 의혜택을 부여한다.

『회원의 입회비와 연회비, 평생회비는 다음과 같습니다.』

구분	입회비	연회비	평생회비	비고
정 회원	20,000원	50,000원	500,000원	
특별회원 단체A급	—	2,000,000원	—	
특별회원 단체B급	—	1,000,000원	—	
특별회원 단체C급	—	500,000원	—	
특별회원 대학도서관	—	70,000원	—	
학생회원	10,000원	15,000원	—	

• 방재업무 담당 공무원은 이사회의 승인시 입회비를 면제받을 수 있다.

- 학회주소 : 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22 한국과학기술회관 신관 1010호
- 연락처 : 전화)02-567-6311 팩스)02-567-6313 이메일)master@kosham.or.kr
- 은행계좌 : 기업은행 02-567-63111 예금주 : 한국방재학회

| 한국방재학회지 광고신청서 |

본 서식을 작성하셔서 아래의 팩스나 이메일로 보내주시기 바랍니다

1. 신청기관

업체명						
주소지						
학회지 배송지						
담당자	성명		부서		직위	
연락처	사무실		팩스		휴대폰	
	e-mail					

2. 신청내역 및 금액

구분	표2	표3	표4	앞내지	뒷내지
1회	1,000,000	1,000,000	1,200,000	1,000,000	800,000
1년(6회)	5,400,000	5,400,000	6,480,000	5,400,000	4,320,000

- ※ 한국방재학회지는 년 6회 발간됨
- ※ 1년 광고시 10% DC적용(특별회원사 10%DC 별도)
- ※ 계좌: 기업 02-567-63111 / 예금주: (사)한국방재학회

3. 광고내용

- 광고형식: B5 사이즈, 고해상도의 JPG 파일 또는 AI파일

게재면	표2	표3	표4	앞내지	뒷내지
	()	()	()	()	()
게재월	1월호(), 3월호(), 5월호(), 7월호(), 9월호(), 11월호()				
희망횟수	()회광고게재				

귀 학회가 발행하는 학회지에 광고를 게재하고자 위와 같이 신청합니다.

첨부: 사업자등록증 사본(계산서 발행용)

20 년 월 일
 업체명
 대표자(또는 담당자) 인
 (사)한 국 방 재 학 회 장 귀 하

서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22 한국과학기술회관 1관 1010호
 전화) 02-567-6312 팩스) 02-567-6313 이메일) master@kosham.or.kr

ENTA 댐퍼 적용 벽식 골조에 대한 구조실험 및 유한요소해석 연구	안효서·안태상·강수민·신지욱·이기학	1
U자형 프리캐스트 콘크리트 모듈러 접합부의 구조성능평가	최영한·채지용·허병욱	13
건설재해예방기술지도 제도의 개선방안	박종호·성연정·정영훈	25
장스팬 빙상경기장의 사용성 한계상태 평가를 위한 고유진동수 측정 및 분석	이가운·이성민·김재현·이기학	39
한·일 자연배연 기준 비교를 통한 물류창고 배연설비의 유효면적 산정에 관한 연구	허예림·이유림·김윤성·진승현·구인혁·권영진	47
네트워크 레벨에서의 도로 시설물 유지관리 의사결정을 위한 중요도 결정 기술 개발	최양록·배영재·임장호·이지우·권경록·공정식	55
기상학적 가뭄지수를 활용한 중국 가뭄평가 및 사막화 전망	김하룡·주진걸	65
유동인구 분석을 통한 폭염 긴급재난문자의 효과 분석	홍유정·정진도·김우식·윤동근	77
이중차분모형을 활용한 재난이 지역의 가계 소비에 미치는 영향 분석	추미진·윤동근	91
레이더강우의 수문 활용 제고를 위한 실시간 품질관리 기법 제안	윤정수·황석환·강나래	101
위성영상을 적용한 재난관리 시스템 개발을 위한 절차 정립 및 화면정의에 관한 연구	이상민·장여주	111
토석류 수치해석에서 지형자료와 유출량 적용에 관한 연구	김남균·전병희	123
가스 누출 탐지 모델 개발을 위한 딥러닝 기반 초음파 이미지 학습 연구	구윤정·박광현·이원희·송병훈·홍정표·신준호	135
고온에 노출된 창호 프레임의 기계적 성질에 관한 연구(II)	이병훈	145
공간자기상관을 통한 화재오인신고의 공간군집패턴 분석: 경상북도를 중심으로	이세명	153
물류시설 방화셔터의 복사열로 인한 화재확산 가능성에 관한 연구	서희원·이상범·김대회·이길용	167
물류시설의 화재하중 및 등가화재지속시간 산출에 관한 연구	이상범·서희원·김대회·이길용	177
성능위주설계 시 근린생활시설의 수용인원 산정 문제점	송영주·김학중	187
연기감지기 한계점 보완 방법에 관한 연구: 일산화탄소 센서를 중심으로	신영민·임유리·김봉준·한동훈	199
중도리 유·무에 따른 복합지붕의 내화성능에 관한 실험적 연구	최수환·이재승·강경신·유지선	209

초기화재시 스프링클러 작동에 따른 Smoke-logging현상에 관한 실험적 연구 윤웅기·구인혁·마츠야마 켄·권영진	219
플랜트 시설물의 Pool Fire 복사열유속 추정방법을 적용한 설계용 예측식 도출에 관한 연구 이병흔·박동인·안찬솔	229
동절기 저온환경에서 양생한 UHPC의 압축강도 발현 평가 임광모·윤용식·고경택·김경철	237
물공급시스템 수질사고 확산제어를 위한 체류시간 기반 대응구역 구축 방법론 개발 유진경·이승연·온병현·전태민·유도근	243
물공급시스템의 수질중점관리구역 결정을 위한 군집분석 문기훈·이승연·유진경·강두선·유도근	249
사례분석을 통한 석축(돌쌓기옹벽)의 붕괴원인 및 안정을 위한 연구 박군서·허성훈·이영대	259
안전진단 신뢰성 향상을 위한 통계 분석 및 인공지능 모델 기법 연구 이성중·이주하	269
공공데이터 활용 클러스터 기반 지진화재위험도 평가기법 개발 연구 강태욱·신지욱·김동규·강재도	279
농업용 저수지 독 높이기 사업 전후 수문 분석: 수양저수지 사례를 중심으로 신형진·이재남·임희성·김세훈·한중수·주진걸	289
섬진강 유역의 물 이용 특성 분석을 통한 수요관리(유수율 제고) 정량화 연구 최시중·강성규·노희성·최천규	299
유전자 알고리즘을 이용한 최적 RTK 산출 프로그램 개발 유다해·전진혁·이정호·김동준	307
갈수기 수질과 수생태계를 고려한 하천수 관리 및 제도 개선에 관한 연구 강성규·허준욱·이기성·최시중	317
딥러닝을 활용한 온천천 부곡교 지점 DO 인자 예측 임희성·안현욱·이재남·신형진·최낙원·주진걸	325

Structural Performance Testing and Finite Element Analysis of the ENTA Wall Frame System -----An, Hyoseo, Ahn, Taesang, Kang, Sumin, Shin, Jiuk, and Lee, Kihak	1
Evaluating Structural Performance of U-shaped Precast Concrete Modular Joints -----Choi, Young Han, Chae, Ji Yong, and Heo, Byung Wook	13
Improvement of Disaster Prevention Technology Guidance -----Park, Jongho, Seong, Yeonjeong, and Jung, Younghun	25
Evaluating Serviceability Limit State in a Long-span Skating Stadium Through Natural Frequency Analysis-----Lee, Gayoon, Lee, Sung-Min, Kim, Jae-Hyun, and Lee, Kihak	39
Comparative Analysis of Korean and Japanese Standards for Natural Smoke Ventilation in Logistic Warehouses-----Huh, Yerim, Lee, Yoolim, Kim, Yunseong, Jin, Seunghyun, Koo, Inhyuk, and Kwon, Youngjin	47
Network-level Method for Road Infrastructure Maintenance Decision Making -----Choi, Yangrok, Bae, Youngjae, Lim, Jangho, Lee, Jiwoo, Kwon, Kyungrok, and Kong, Jung Sik	55
Assessment of Drought and Desertification Outlook in China Using Meteorological Drought Indices-----Kim, Hayong, and Joo, Jingul	65
Effectiveness of Heatwave Emergency Alert Messages through Analysis of Floating Population -----Hong, You-Jeong, Jeong, Jindo, Kim, Woosik, and Yoon, Dong Keun	77
Impact of Disaster on Household Expenditures Using a Difference-in-Difference Analysis -----Choo, Mijin, and Yoon, Dong Keun	91
Proposal for Real-time Quality Control Method to Enhance Hydrological Application of Radar Rainfall-----Yoon, Jungsoo, Hwang, Seok-Hwan, and Kang, Narae	101
A Study on Establishing Procedures and Display Design for the Development of the Disaster Management System using Satellite Imagery-----Lee, Sangmin, and Jang, Yeoju	111
Analyzing Debris Flow: Topographical Data and Discharge Rate Study -----Kim, Namgyun, and Jun, Byonghee	123
Research on Deep learning based Ultrasonic Image Learning to Develop a Gas Leak Detection Model-----Gu, Yunjeong, Park, Kwanghyun, Lee, Wonhee, Song, Byunghun, Hong, Jungpyo, and Shin, Junho	135

Mechanical Properties of Window Frames Exposed to High Temperature (II)	Lee, Byeong-Heun	145
Analysis of Spatial Clustering Patterns of Fire Misidentification Through Spatial Autocorrelation Analysis: Focusing on Gyeongsangbuk-do	Lee, Semyeoung	153
Possibility of Fire Spreading Owing to Radiant Heat from Fire Shutters in Logistics Facilities	Seo, Heewon, Lee, Sangbum, Kim, Daehoi, and Lee, Gilyong	167
Study on Fire Load and Duration of Fire in Logistics Facilities	Lee, Sangbum, Seo, Heewon, Kim, Daehoi, and Lee, Gilyong	177
Occupant Load Factor Calculation in Neighborhood Living Facilities while Performance-Based Design	Song, Youngjoo, and Kim, Hakjoong	187
Study on a Complementary Method to Address the Limitation of Smoke Detectors: Focusing on Carbon Monoxide Sensors	Shin, Young Min, Lim, You Ri, Kim, Bong Jun, and Han, Dong-Hun	199
Fire Resistance Performances of Composite Roofs According to Application and Non-Application of Purlin	Choi, Suhwan, Lee, Jaesung, Kang, Kyeongsin, and You, Jisun	209
Experimental Study on the Smoke-Logging Phenomenon Owing to Sprinkler Operation During Initial Fire	Yoon, Unggi, Koo, Inhyuk, Matsuyama, Ken, and Kwon, Youngjin	219
Design Prediction Equation for Plant Facilities: A Study Using the Pool Fire Radiant Heat Flux Estimation Method	Lee, Byeong-Heun, Park, Dong-In, and Ahn, Chan-Sol	229
Evaluation of Compressive Strength of UHPC Cured in A Winter Low-temperature	Lim, Kwangmo, Yoon, Yongsik, Koh, Kyungtaek, and Kim, Kyongchul	237
Developing a Methodology to Establish Response Zones based on Travel Time for Controlling the Spread of Water Quality Incidents in Water Supply Systems	Yu, Jin Kyung, Lee, Seung Yeon, On, Byeong Heon, Jeon, Tae Min, and Yoo, Do Guen	243
Cluster Analysis to Identify Priority Areas for Water Quality Management in Water Supply Systems	Moon, Gi Hoon, Lee, Seung Yeon, Yu, Jin Kyung, Kang, Doosun, and Yoo, Do Guen	249
A Study on Causes and Stability of Masonry Retaining Walls by Case Analysis	Park, Kyunseo, Heo, Soungun, and Lee, Youngdai	259

A Study on the Statistical Analysis and Artificial Intelligence Model to Improve the Reliability of Safety Inspection	Lee, Sung Jong, and Lee, Joo Ha	269
Developing Cluster-based Fire Following Earthquake Risk Evaluation Method using Building Registration Data	Kang, Taewook, Shin, Jiuk, Kim, Dong-gyu, and Kang, Jae-Do	279
Hydrological Analysis Before and After Embankment-Raising Project of Agricultural Reservoir Watershed: A Case Study of Suyang Reservoir	Shin, Hyungjin, Lee, Jaenam, Lim, Heesung, Kim, Sehoon, Han, Jongsoo, and Joo, Jingul	289
A Study on the Quantification of Demand Management (Improving Revenue Water Ratio) through the Analysis of Water Use Characteristics in Seomjin River Basin	Choi, Sijung, Kang, Seongkyu, Noh, HuiSeong, and Choi, CheonKyu	299
Development of an Optimal RTK Calculation Program Using Genetic Algorithm	Yu, Da Hae, Jeon, Jin Hyuk, Lee, Jung Ho, and Kim, Dong Jun	307
Stream Flow Management and Institutions: Studying Water Quality and Aquatic Ecosystems in Dry Seasons	Kang, Seongkyu, Hur, Junwook, Lee, Kisung, and Choi, Sijung	317
Prediction of the DO Factor at Bugok Bridge, Oncheoncheon, Using Deep Learning	Lim, Heesung, An, Hyunuk, Lee, Jaenam, Shin, Hyungjin, Choi, Nagweon, and Joo, Jingul	325

| 한국방재학회 국문논문집 투고안내 |

우리학회에서 발간하고 있는 '한국방재학회논문집'은 한국연구재단의 학술등재지로서 일반논문과 긴급논문 두 가지 방법으로 논문접수를 받고 있으나 회원님들의 많은 관심과 투고 바랍니다.

[참고사항]

- >> 일반논문: 심사기간은 2주이며 게재가, 수정후게재가, 수정후재심, 게재불가로 판정됨
- >> 긴급논문: 심사기간은 10일이며 게재가, 수정후게재가, 게재불가로 판정됨
- 기타: 논문투고는 홈페이지상의 논문투고시스템으로 투고해 주셔야 하며, 논문투고자와 교신저자는 미납연회비가 없는 정회원이어야 합니다.

●● 논문투고료(심사료)

- >> 일반 논문투고료(심사료) : 60,000원
- >> 긴급 논문투고료(심사료) : 150,000원

●● 논문게재료

구분	논문 게재 면수	기본 및 초과게재료	구분	논문 게재 면수	기본 및 초과게재료
일반 논문 게재료	6쪽까지	100,000원	긴급 논문 게재료	6쪽까지	200,000원
	7~15 쪽	쪽당 30,000원 추가		7~15 쪽	쪽당 50,000원 추가
	16쪽 이상	게재불가		16쪽 이상	게재불가

※ 한국방재학회 논문투고규정이 일부개정됨에 따라 2015년 1월부터 투고되는 논문의 기본 게재면수가 현재 8쪽에서 6쪽으로 변경되었으며, 초과게재료가 상기와 같이 조정되었기에 '한국방재학회 논문집'에 투고하시는 회원님께서서는 참고하여 주십시오.

- 학회 입금계좌 : 기업은행 02-567-63222 예금주 : 한국방재학회
- 논문구독을 희망하시는 분은 학회로 연락하여 주시기 바랍니다
02-567-6311, master@kosham.or.kr
(논문구독료 40,000/년)

감사합니다.

논문집편집위원회 위원장 이정호

| 한국방재학회지 투고안내 |

회원 · 비회원 여러분의 투고를 환영합니다.

게재된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 드립니다.

※ 투고하실 때에는 다음과 같은 투고요령을 따라 주시기 바랍니다.

1. 원고는 HWP(워드프로세서)를 사용하고, 학회 이메일(master@kosham.or.kr)로 원고를 보내주시기 바랍니다.
2. 원고 분량은 A4용지 기준으로 4~7쪽(글자크기 11p, 줄간격 160%) 내외로 작성하여 주시기 바랍니다.
- 권두언(시론)은 분량과 상관없음
3. 원고의 상단에는 투고자의 성명, 직장, 직위, 사진, 이메일 주소를 정확히 기재하여 주시고, 저자수는 3명 이내로 하여 주십시오.
4. 원고는 한글전용을 원칙으로 하되, 부득이 한자 및 외국어 표기가 필요할 경우에는 ()속에 표기하여 주시기 바랍니다.
5. 본문, 그림, 표, 참고문헌 인용방법 등은 인터넷 홈페이지의 논문집 투고규정 및 논문작성 방법을 따라 주시기 바라며, 단위 표기는 SI 단위계를 사용하여 주시기 바랍니다.
6. 원고를 투고하실 때 메일에 소정의 원고료 입금을 위한 계좌번호와 학회지를 받으실 주소를 명기하여 보내주시기 바랍니다.

건축에 대한 생각을 모아 사람들의 마음을 두드립니다
사람들의 마음을 담아 만들어가는 새로운 문화

계룡이 생각하는 건설

바로 사람과 문화가 함께하는 건설입니다

건설, 사람의 마음을 열다



계룡건설 · KR산업 · 계룡산업 · KR유통 · KR스포츠 · KR서비스 · KR레저 · 계룡장학재단



우리는 지금도 미래를 짓고 있습니다

Great Possibility



DOHWA

Create the Value
Shape the Future

2030 World Top-Tier

 www.dohwa.co.kr

물 WATER

- 상수도
Water Supply
- 하수도
Sewerage
- 하천/수자원개발/댐/수력발전
Water Resource

도시 URBAN

- 도시계획·개발
Urban Planning & development
- 조경·레저
Landscaping / Leisure
- 스마트시티
Smart City

교통 TRANSPORTATION

- 도로/공항/교통계획
Road / Airport / Traffic Planning
- 철도/지하철
Railway / Metro
- 항만/교량/지반터널
Port & Coastal / Bridge / Ground Tunnel

에너지 ENERGY

- 태양광
Solar Power
- 풍력
Wind Power
- 환경플랜트/화력
Power Generation / Environment



2024

한국방재학회 학술발표대회

재난관리 패러다임 대전환

Congress on Disaster Management
and Science (CDMS) 2024

24. 2. 21(수) ~ 24(토)
제주신화월드



사전등록 및 논문초록 접수 기간

2023. 11. 13(월) ~ 2024. 1. 5(금)

문의 02-567-6311 www.kosham.or.kr

※ 자세한 내용은 학회 홈페이지를 참조해주세요.

학술대회 등록비

구분	회원	학생(학부생)	비회원
사전등록	15만원	6만원	22만원
현장등록	18만원	8만원	25만원