

유한요소 해석을 통한 발전소 연돌 구조물의 지진취약도 분석

권규빈¹, 김진섭^{2*}, 권민호³, 박관수⁴

¹경상대학교 토목공학과, ²경상대학교 토목공학과, ³경상대학교 토목공학과, ⁴한국남동발전 건설기술처

Seismic Fragility Evaluation of Chimney Structure in Power Plant by Finite Element Analysis

Gyu-Bin Kwon¹, Jin-Sup Kim^{2*}, Min-Ho Kwon³, Kwan-Soo Park⁴

¹Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

²Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

³Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

⁴Department of Power Planing & Construction, Korea South-East Power Company

요약 국내의 사회기반시설물인 교량이나 댐, 원전에 대한 내진 연구는 일찍부터 활발한 연구가 진행되어왔지만 화력발전소 구조물의 경우 사회적 중요성에 비해 지진에 대한 안전성 평가기술에 대한 연구가 미비한 실정이다. 이에 본 논문에서는 16개의 실제 발생한 지진파와 12개의 PGA에 대해 총 192회의 동적해석을 수행하였다. 그 결과 콘크리트의 압축강도와 연돌 구조물의 상대변위의 경우 적용한 지진파별로 PGA값이 증가함에 따라서 파괴확률이 증가하는 양상을 보여주었지만 지진파 별로 상이하였다. 이는 연돌의 고유치 해석 결과 주된 모드와 유사한 장주기 성분이 많은 지진파에서는 취약하기 때문인 것으로 분석되었다. 이를 바탕으로 취약도 곡선을 도출하여 우리나라 지역계수 0.22G를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 압축이 한계상태에 도달한 비율은 25%이고 상대 변위가 한계상태에 도달한 비율은 13%이다. 따라서 지진이 발생했을 경우 상대 변위에 의해 붕괴될 확률보다 압축파괴에 의한 붕괴 확률이 높다. 이에 본 연구대상인 연돌에 대한 취약도 곡선은 지진이 발생했을 때 대상 구조물에 대한 한계상태를 판별하는 정량적 근거가 되고 화력발전 연돌 구조물의 지진에 대한 안전설계시 활용될 수 있다.

Abstract Seismic research on bridges, dams and nuclear power plants, which are infrastructure in Korea, has been carried out since early on, but in the case of structures in thermal power plants, research is insufficient. In this study, a total of 192 dynamic analyzes were performed for 16 actual seismic waves and 12 PGAs. As a result, the probability of failure increased as the PGA value increased for each applied seismic wave, but it was different for each seismic wave. As a result, at 0.22G, the ratio of the compressive limit reached to the limit state was 25% and the ratio of the relative displacement reached the limit state was 13%. So, the probability of collapse due to compressive failure is higher. Therefore, the fragility curve of the chimney which is the subject of this study can be used as a quantitative basis to determine the limit state of the target structure when an earthquake occurs and to be used for the safety design of the thermal power plants.

Keywords : Chimney, Fragility Curve, PGA, Seismic Waves, Thermal Power Plants

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (NRF-2017R1C1B5016990)

*Corresponding Author : Jin-Sup Kim(Gyeongsang National Univ.)

Tel: +82-055-772-1791 email: jinsup.kim@gnu.ac.kr

Received January 8, 2019

Revised February 12, 2019

Accepted March 6, 2019

Published March 31, 2019

1. 서론

한태평양 조산대의 영향으로 화산 및 지진발생이 빈번하게 발생하고 있다. 국내는 관 경계로부터 떨어져 있어 지진으로부터 안전하다고 생각해왔다. 하지만 최근의 경주지진(2016년 9월 발생) 및 포항지진(2017년 11월 발생)으로 한반도도 대규모 지진에 대한 대비의 필요성이 대두되고 있다. 이에 국내의 사회 기반시설물인 교량, 댐, 원전 등에 대한 연구는 일찍부터 활발한 연구가 수행되고 있다[1-4]. 하지만 화력발전소와 같은 발전구조물의 경우 그 사회적 중요성에 비해 지진에 대한 안전성 평가기술에 대한 연구가 많이 부족한 실정이다.

지진에 대한 구조물의 위험도를 평가하기 위하여 파괴 확률을 활용한 지진 취약도 곡선을 작성하여 평가하는 연구가 활발히 수행되고 있다. 2000년도에 들어서는 최대우도 추정법을 통한 지진취약도 해석 및 분석에 관한 연구가 수행되었고, 몬테카를로 시뮬레이션을 기반으로 한 확률론적 지진취약도 평가에 관한 다양한 연구가 수행되었다. 이후에도 다양한 구조물에 대한 지진취약도 분석에 관한 연구는 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 화력발전구조물 중 연돌 구조물에 대한 지진취약도를 분석하고자 하였다. 화력 발전소의 연돌 구조물을 범용 유한요소 해석프로그램인 ABAQUS[5]를 이용하여 3D로 모델링하여 몬테카를로 시뮬레이션(monte carlo simulation)을 기반으로 한 확률론적 지진 취약도 평가를 수행하였다. 이를 통해 연돌의 지진에 대한 손상 및 파괴에 대한 확률론 적인 예측을 가능하게 하고, 그와 관련된 발전구조물의 지진 취약도 연구에 대한 기초자료로 활용하고자 한다. 기존의 연구 [6,7]에서 진행된 확률을 기반으로 한 안전성 해석에 관한 이론적 연구를 바탕으로, 취약도 분석방법을 이용해 콘크리트 프레임구조에 대한 내진 안정성 평가를 하였다. 이는 지진에 대한 손상을 좀 더 명확히 예측하고, 이를 활용하여 아직 발생하지 않은 큰 규모의 지진에 대한 피해를 최소화하는데 그 목적이 있다.

2. 유한요소 해석

2.1 구조물의 개요

본 연구 대상 연돌은 국내 화력 발전소 내의 구조물로

서 연소설비 시스템 상의 통풍 배연 및 배기가스의 확산, 희석을 목적으로 하는 설비이고 철근 콘크리트 구조물로 되어있다. 기초를 제외하고 전체높이는 198 m이고 상부 외경은 직경10.3 m, 두께350 mm이며, 하부 외경은 직경 16.0 m, 두께1000 mm이다. 연돌의 기초는 직경 26 mm, H=4.5 m인 팔각형 철근콘크리트 구조이다. 본 연구대상 연돌의 전경은 Fig.1 과 같다.



Fig. 1. A panorama of Chimney(subject of study)

2.2 유한요소 모델링

2.2.1 일반사항

해석 대상인 연돌의 해석을 위해 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하였다. 철근콘크리트 구조물로 모델링하였으며, 콘크리트의 경우 Solid요소로 균질한(homogeneous) 재료로 구성되어 있다고 가정되었고, 철근의 경우 Line요소로 D19, D22, D29, D32의 철근을 사용하였으며 유한요소 해석특성상 한 콘크리트 솔리드 요소(concrete solid element)에 배근 되는 철근 량이 동일하면 해석결과에 차이가 없으므로 직경을 4배로 늘리고 철근의 배근 개수를 1/4로 줄여서 모델링하였다. 전체 좌표계에서 연돌의 덕트(flue gas duct)가 들어가는 구멍(hole)이 Y방향, 연돌 입구(entrance)가 X방향, 연돌의 옥상부가 Z방향으로 모델링하였다. 콘크리트와 철근의 접합(interaction)은 기초와 연돌 본체의 콘크리트 요소들의 경우 Tie를 사용하였고, 연돌 및 기초의 콘크리트와 철근요소의 경우는 Embedded Region를 사용하였다.

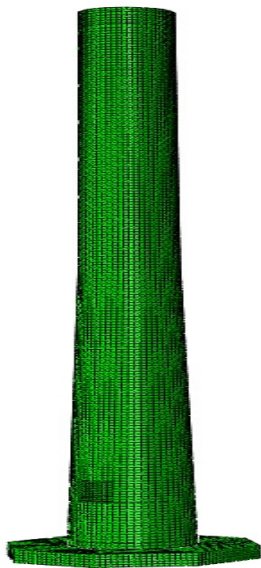


Fig. 2. 3D structure modeling for analysis

2.3 재료 물성치

연돌의 구조모델링에 사용된 콘크리트와 철근의 재료적인 특성을 각각 Table 1. 과 Table 2. 에 표기하였다.

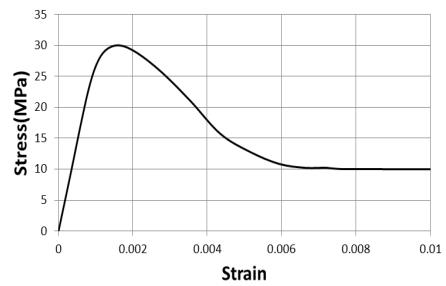
Table 1. Material property of concrete

Young's Modulus (MPa)	28,577
Poisson's Ratio	0.2
Mass (t/m^3)	2.3
Compressive Strength (MPa)	30
Tensile Strength(MPa)	0.6

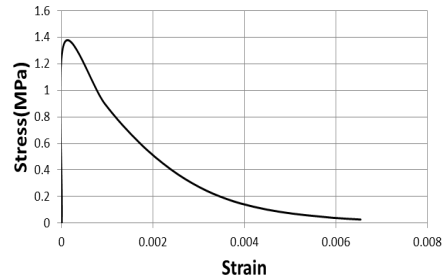
Table 2. Material property of steel

Young's Modulus (MPa)	200,000
Poisson's Ratio	0.3
Mass (t/m^3)	7.7
Yield Stress (MPa)	400
Ultimate Stress(MPa)	560

구조모델링에 사용된 콘크리트 비탄성 영역 물성치를 압축거동과 인장거동은 Fig 3. 에서, 철근의 비탄성 영역 물성치는 Fig 4. 에 나타냈다.



(a) Compression behavior



(b) Tensile behavior

Fig. 3. Concrete damaged plasticity model

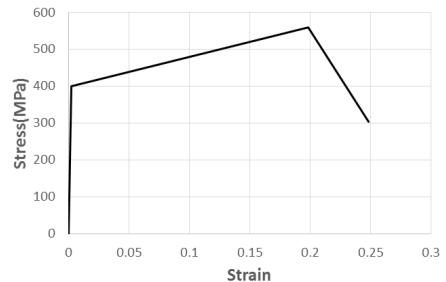


Fig. 4. Constitutive model for steel material

2.4 지진파 분석

2.4.1 지진파 선정

선형지진응답을 수행할 때 주파수 성분의 진폭을 조정해 추계학적으로 작성한 인공 지진파를 ASCE 43-05(ASCE, 2005)에서 제안하고 있다. 하지만 실제로 기록된 지진파를 사용할 경우 비선형 지진응답 해석에 좀 더 적합한 해석 값을 얻을 수 있다. 그리고 통계학적인 의미를 가지는 응답 분포를 얻으려고 할 때는 30개의 인공 지진파를 권장하고 있으나 ASCE 4-98(ASCE, 2000)에서는 3개 이상의 지진파를 권장하고 있다.

따라서 본 연구에서는 3D 동적 비선형 해석을 위해 총 16개의 전 세계에서 실제로 발생한 지진파로 해석을 수행하였다. Table 3. 에 해석에 사용된 지진파 정보를 나타냈다.

여기서 PGA(Peak Ground Acceleration)는 실 가속도 값을 중력가속도 값(9.81m/s²)으로 나눈 값을 의미하고, 규모(Mag.)는 리히터 규모를 의미한다.

Table 3. Information list of natural earthquake waves

Events	Station	Mag.	Epicentral D.(km)	PGA(g)
Parkfield	Cholame-Shand on Array #5	6.19	9.6	0.1381
San Fernando	Pacoima dam	6.61	0	1.2259
Imperial Valley	Aeropuerto Mexicali	6.53	0	0.3267
Imperial Valley	Elcentro Array #10	6.53	6.2	0.1053
Imperial Valley	Elcentro Array #4	6.53	4.9	0.2478
Nahanni Canada	Site 2	6.76	0	0.489
Nahanni Canada	Site 3	6.76	4.9	0.1404
N. Palm Springs	North Palm Springs	6.06	0	0.5941
Loma Prieta	Gilroy Array #1	6.93	8.8	0.2088
Chi-Chi Taiwan	TCU076	7.62	2.8	0.3029
Friuli Italy	Barcis	6.5	49.1	0.0289
Imperial Valley	El Centro Array #12	6.53	17.9	0.0658
Imperial Valley	El Centro Array #13	6.53	22	0.0456
Imperial Valley	El Centro Array #3	6.53	10.8	0.1267
Imperial Valley	El Centro Array #1	6.53	21.7	0.0564
Imperial Valley	El Centro Array #11	6.53	12.4	0.1403

2.4.2 고속 푸리에 변환(FFT)

선정된 지진파의 주파수를 분석하기 위하여 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transforms, 이하 FFT)를 수행하였다. FFT는 푸리에 변환을 빠르게 산출하기 위한 알고리즘으로서, 주파수 영역의 알고리즘과 시간 영

역의 알고리즘으로 나뉘게 되는데 본 연구에선 주파수 영역의 알고리즘으로 지진파를 분석하여 어느 진동수(Hz)에서 우세한 지진인지 분석하고자 하였다.

고속 푸리에 변환한 푸리에 스펙트럼은 Fig 5. 과 같이 나타났고, 대체적으로 장주기 성분인 0에서 5Hz사이의 진동 수가 우수한 지진으로 분석되었다.

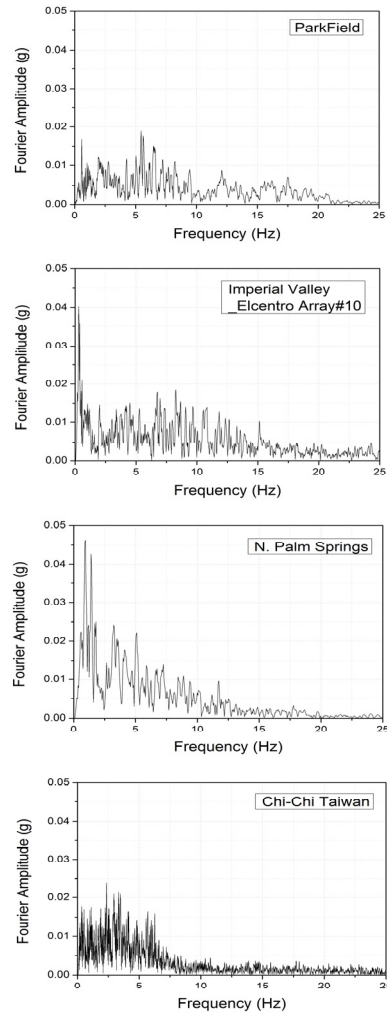


Fig. 5. Fourier transform spectra

3. 유한요소 해석결과

3.1 고유치 해석

유한요소 해석프로그램을 사용한 시간이력지진해석에 앞서 연돌 구조물에 대한 고유치 해석을 수행하였다.

고유치 해석을 통하여 연돌 구조물의 동적인 외력에 대한 고유형상을 평가하고자 하였다.

ABAQUS에서 Lanczos방법을 사용해서 고유치를 5차까지 수행하였다. 각 모드에 대한 고유치와 고유진동수는 Table 4. 와 같고, 모드 형상은 Fig 6. 과 같이 해석되었다. 일반적으로 연돌과 같은 캔틸레버 구조물의 경우 저차수의 모드 기여도가 높고, 차수가 낮을수록 모드 기여도가 낮다. 따라서 연돌의 동적특성은 Mode1과 Mode2가 주된 모드라고 판단하였다.

Table 4. Eigen value and natural frequency of each mode

Mode No.	Eigen value	Natural frequency (cycle/sec)
1	6.7545	0.41364
2	8.4096	0.46154
3	124.84	1.7782
4	145.91	1.9225
5	876.58	4.7121

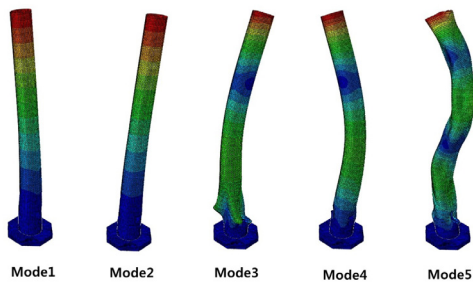


Fig. 6. Feature by each mode

3.2 지진해석 및 결과

본 연구대상 연돌 구조물에 대해 3D 동적 비선형해석을 수행하였다. 연돌에 하중은 자중 및 지진하중으로 구성되었고 지진하중은 상대적으로 약축인 연돌의 덕트가 들어가는 구멍의 방향인 Y방향에 따라 지진하중을 적용했다. Table 3. 에서 선정된 지진파 16개와 0.1G부터 0.1G씩 증가하여 1.0G까지 10개의 PGA에 0.22G와 0.315G를 추가하였다. 따라서 총 16개의 지진파에 각 지진파당 총 12개의 PGA를 적용하여 총 192회의 동적 해석을 수행하였다.

3.2.1 콘크리트 파괴(concrete failure) 특성

콘크리트 압축파괴(concrete compression failure)의 경우 콘크리트 재료에 해당하는 파트의 전체 노드(node)

에서 Min Principal. 값의 시간별 최솟값을 선택하여 나타냈다. 이를 통해 각 노드의 시간에 따른 콘크리트 재료의 압축응력(compression stress)의 최댓값을 확인할 수 있다.

그 결과 Park field에서 발생한 지진이 평균적으로 낮은 압축응력 값을 보여주었고, Chi-Chi Taiwan에서 발생한 지진이 상대적으로 높은 압축응력 값을 보여주었다. Park field의 경우 0.1G부터 0.3G까지는 압축응력이 한계상태(16.575MPa)[8]를 넘지 않고 소성변형도 발생하지 않았으나 0.3G부터 1.0G까지는 항복상태를 초과한 응력이 발생하였다. Chi-Chi Taiwan의 경우 0.1G부터 항복상태를 초과한 응력이 발생하였다. 이는 연돌구조물의 고유치 해석결과 주된 모드가 대부분 장주기 성분이기 때문에 적용지진파를 FFT한 결과에서 알 수 있듯이 Parkfield보다 장주기 성분이 많은 Chi-Chi Taiwan 지진파에서 쉽게 항복상태에 도달하게 되는 것으로 분석하였다. Fig 7.와 Fig 8.에서 각각 Park field와 Imperial Valley_Elcentro Array#10의 12개의 PGA 값에서 나타나는 압축응력 변화를 나타내었다.

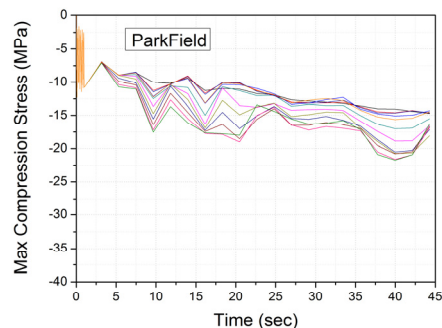


Fig. 7. ParkField Time-Max Compression Stress Graph (12 PGA)

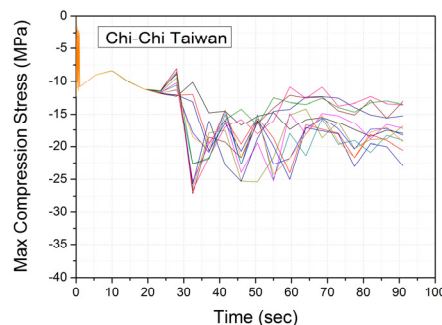


Fig. 8. Chi-Chi Taiwan Time-Max Compression Stress Graph(12 PGA)

콘크리트 인장파괴(concrete tension failure)의 경우 모든 지진파와 PGA에 상관없이 거의 유사한 파괴양상을 보여주었다. 평균 1.36MPa의 인장응력(tensile stress)을 보여주었는데 이는 콘크리트 재료 인장한계 1.35MPa를 상회하는 값으로 대부분의 지진에서 콘크리트의 인장 변형이 일어남을 의미한다. Fig 9.와 Fig 10.에서 각각 Park field와 Imperial Valley_Elcentro Array#10의 12개의 PGA 값에서 나타나는 응력 변화를 나타내었다.

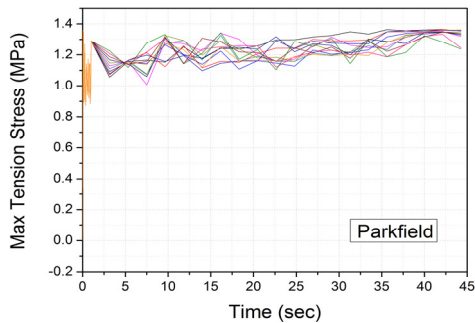


Fig. 9. Parkfield Time-Max Tension Stress Graph(12 PGA)

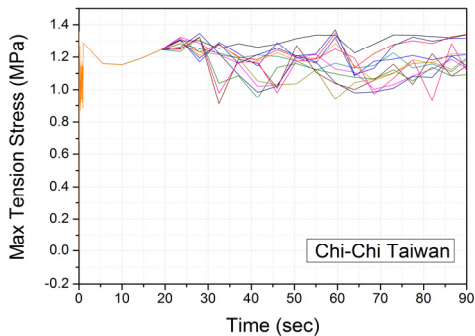


Fig. 10. Chi-Chi Taiwan Time-Max Tension Stress Graph(12 PGA)

3.2.2 철근 항복(Steel failure) 특성

철근 인장파괴(steel tension failure)의 경우 철근 재료에 해당하는 파트의 전체 노드(node)에서 Max In-Principal 값의 시간별 최댓값을 선택하여 나타냈다. 이를 통해 각 노드의 시간에 따른 철근 재료의 인장응력(tensile stress)의 최댓값을 확인할 수 있다.

그 결과 모든 지진파별로는 상이하나, PGA에서는 거의 유사한 인장응력을 보여주었다. 그 중 Friuli Italy에서 발생한 지진이 평균적으로 낮은 인장응력 값을 보여주었고, Chi-Chi Taiwan에서 발생한 지진이 상대적으로

높은 인장응력 값을 보여주었다. 대부분의 지진파에서 일정시간이 지난 뒤에 철근 인장 항복응력(yield stress)인 400MPa를 넘어섰는데 Friuli Italy에서는 평균적으로 414MPa의 인장강도를 보여주었고, Chi-Chi Taiwan에서는 503MPa의 인장강도를 보여주었다. 모든 지진에서 항복응력(400MPa)를 초과하였으나 극한응력(560MPa)를 넘지진 못하였기에 철근 재료의 파괴는 일어나지 않았다고 판단할 수 있다. Fig 11. 와 Fig 12. 에서 각각 Friuli와 Chi-Chi Taiwan의 12개의 PGA 값에서 나타나는 응력 변화를 나타냈다.

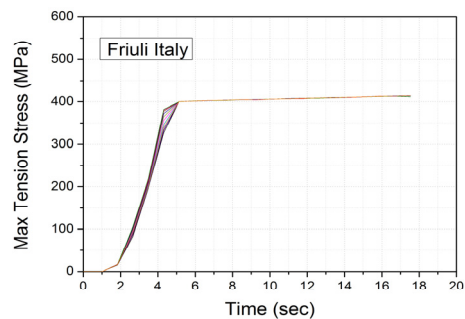


Fig. 11. Friuli Italy Barcis Time-Max Tension Stress Graph(12 PGA)

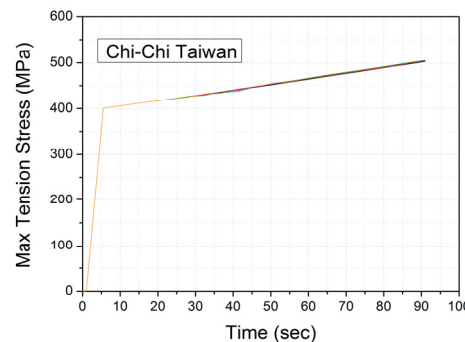


Fig. 12. Chi-Chi Taiwan_TCU076 Time-Max Tension Stress Graph(12 PGA)

3.2.3 최대상대변위

시간이력해석법에서 최대상대변위를 측정하기 위해 최하위 층의 노드와 최상위 층의 노드의 상대변위를 측정하였다. 그 결과 총 16개의 지진파 중에서 Imperial Valley_Elcentro Array#10에서 발생한 지진파들이 가장 큰 변위를 보였으며, N. Palm Springs에서 가장 작은 변위를 보였다.

Imperial Valley_Elcentro Array#10의 지진파의 경우

0.1G는 최대상대변위가 한계상태(264 mm, 높이의 1/750)를 넘지 않았으나 0.2G부터 1.0G까지는 한계상태를 초과한 변위가 발생하였다. N. Palm Springs의 지진파의 경우는 0.1G부터 0.8G까지 최대상대변위가 한계상태를 넘지 않았으나 0.9G부터 1.0G까지는 한계상태를 초과한 변위가 발생하였다. 이는 연돌 구조물의 고유치 해석결과 주된 모드가 대부분 장주기 성분이기 때문에 적용지진파를 FFT한 결과에서 알 수 있듯이 N. Palm Spring보다 장주기 성분이 많은 Imperial Valley_Elcentro Array#10 지진파에서 쉽게 항복상태에 도달하게 되는 것으로 분석하였다. Fig 13. 와 Fig 14. 에서 각각 Imperial Valley와 N. Palm Springs에서 12개의 PGA값에서 나타나는 변위 값을 나타냈다.

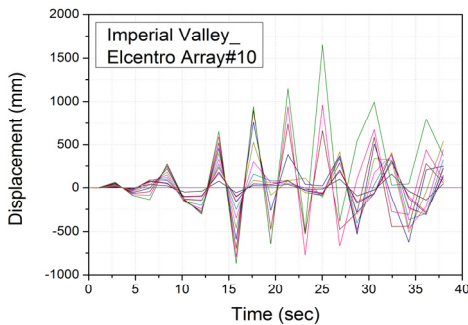


Fig. 13. Event in Imperial Valley_Elcentro Array#10 Time-displacement Graph(12 PGA)

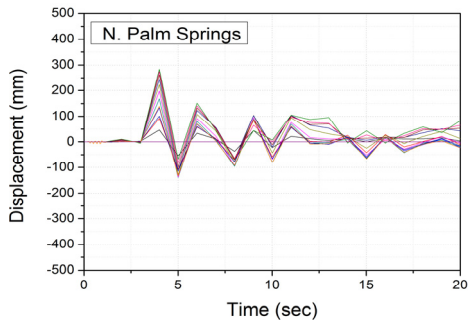


Fig. 14. Event in N. Palm Springs Time-displacement Graph(12 PGA)

4. 취약도 분석

해석결과를 바탕으로 PGA에 따른 콘크리트 파괴확률을 산정하였다. 최대 압축 응력이 허용응력을 초과하는 상태를 파괴상태로 가정하였다. 본 연구에서 콘크리트

트의 압축한계 16.575MPa를 파괴상태로 가정하였으며 [8], 상대변위의 경우 연돌 높이의 1/750인 264mm를 파괴상태로 가정하였다[9,10]. 파괴확률의 평균값과 표준편차를 기준으로 자연로그데이터를 토대로 취약도곡선을 산출하였다[11].

Fig 15. 은 콘크리트의 압축강도 취약도 곡선을 나타내고 있다. 콘크리트강도의 경우 PGA값이 0.3G인 경우에서 파괴확률이 약 63%, 90%이상의 파괴확률은 약 PGA 0.6G이상에서 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 우리나라 지진구역 구분 및 지역계수가0.22G임[12]을 고려할 때 한계상태에 도달한 비율은 약 25%으로 나타났다.

Fig 16. 는 연돌의 상대변위에 대한 취약도 곡선을 나타내고 있다. 상대변위의 경우 PGA값이 0.5G인 경우 파괴확률이 약 56%, 90%이상의 파괴확률은 약 PGA 0.9G이상에서 발생하는 것으로 분석되었다. 0.22G에서 한계상태에 도달한 비율은 13%로 상대변위에 있어서 비교적 안전하다고 판단할 수 있다.

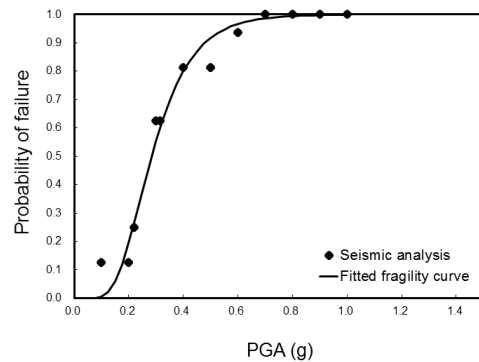


Fig. 15. Fragility Curve for Chimney Compression

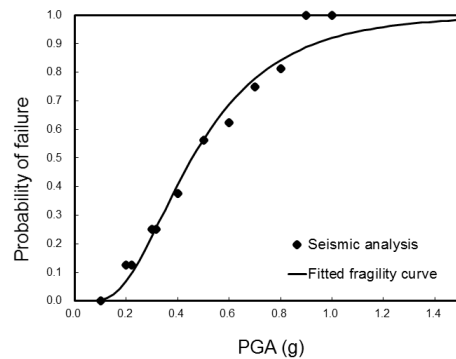


Fig. 16. Fragility Curve for Chimney Displacement

5. 결론

본 연구에서는 지반을 고려한 연돌 구조물의 내진안전도 평가를 위한 3차원 비선형해석을 수행하였다. 연돌 구조물 도면과 동일하게 모델링을 수행하였으며 지진하중은 총 16개의 인공지진파를 사용하였고, 각 인공 지진파별로 PGA를 12개로 구분하여 총 192회 해석을 수행하였다.

해석결과 콘크리트의 압축강도와 연돌 구조물의 상대변위의 경우 적용한 지진파별로 PGA값이 증가함에 따라 증가하는 양상을 보여주었지만 지진파별로 상이하였다. 이는 연돌의 고유치해석결과와 유사한 장주기 성분이 많은 지진파에서는 취약하기 때문인 것으로 분석되었다.

해석결과를 바탕으로 연돌 구조물에 대한 지진취약도를 분석하였다. 취약도 분석결과 우리나라 지진구역 구분 및 지역계수가 0.22G임을 고려할 때 콘크리트 압축강도가 한계상태에 도달한 비율은 약 25%, 상대변위가 한계상태에 도달한 비율은 13%로 지진이 발생했을 때 상대변위에 의해 붕괴할 확률보다 콘크리트 압축파괴에 의한 붕괴 확률이 더 높다고 판단할 수 있다. 이는 안전하지 않다고 판단할 수 있으나 연돌의 동적특성과 유사한 장주기 성분에 대해 면진 설계가 이루어진다면 지진에 대해 더 안전할 것이라고 판단된다.

따라서 이 해석결과를 바탕으로 화력발전소 연돌의 지진에 대한 취약도 곡선은 지진이 발생하였을 때 구조물의 한계상태를 판별하는 정량적 근거로 활용할 수 있으며 화력발전소 연돌의 지진에 대한 안전설계 시 기초 자료로 사용할 수 있다.

References

- [1] W. J. Kim, M. H. Kwon, J. S. Kim, J. H. Lim, H. S. Seo, "Seismic Fragility Evaluation for Weir by Three-Dimensional Finite Element Analysis", J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc. Vol. 8, No. 2, pp. 33-40, June 2017.
DOI: <https://doi.org/10.11004/kosacs.2017.8.2.033>
- [2] Y. S. Kim, "Status of domestic and overseas earthquakes and safety evaluation of domestic nuclear power plants" Nuclear industry, Vol.15, No.7, pp. 56-59, 1995.
- [3] J. H. So, Y. S., Kim, Y. G., "Evaluation of the Seismic Safety of Concrete Gravity Dams." Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 6, No. 1,

pp. 33-41, 2002.

- [4] Y. G. Kim, "Seismic Safety Evaluation of Concrete Gravity Dams Considering Dynamic Fluid Pressure." Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 21, No. 1, pp. 120-132, 2006.
- [5] Dassault System Simulia Corp., pp. 1.1.1-39.1.1., Abaqus Analysis User's Manual. Version 6.11. ABAQUS, 2011.
- [6] J. Y. Moon, "Seismic Fragility Evaluation of Cabinet Panel by 3D Dynamic Nonlinear Analysis", Master Thesis, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, pp. 65-69, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.2.50>
- [7] W. J. Kim, "Seismic Fragility Analysis of Multi-Functional Weirs by Three-Dimensional Nonlinear Analysis", Master Thesis, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, pp. 45-53, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.11004/kosacs.2017.8.2.033>
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), p.5-11~5-21, "Korean Highway Bridge Design Code(Limit State Design).", 2012.
- [9] D. K. Kim, H. Y. Seo, J. H. Yi, G. Y. Jung., S. H. Kim, "Fragility Analysis of Seismic Isolated Extradosed Bridges", KSCE CONVENTION, p670-675, 2004.
- [10] I. R. Youn, Y. G. Kwon, "Damage Assessment and Establishment of Damage Index for Reinforced Concrete Colum", KSIA, 10th-3rd, p237, 2006.
- [11] B. G. Nielson, "Seismic fragility methodology for highway bridges using a component level approach." Earthquake engineering & structural dynamics, Vol. 36, No. 6, pp. 823-839, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.655>
- [12] Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), p. 81-85, "KBC 2016", 2016.

권 규 빈(Gyu-Bin Kwon)

[준회원]



- 2018년 2월 : 경상대학교 토목공학과 (공학사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 토목공학과 (석사과정)

<관심분야>

강구조, 구조해석, 복합재료 보강재, 내진성능평가

김 진 섭(Jin-Sup Kim)

[종신회원]



- 2008년 2월 : 경상대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 경상대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 경상대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

강구조, 구조해석, 복합재료 보강재, 내진성능평가

권 민 호(Min-Ho Kwon)

[정회원]



- 2000년 8월 : Univ. of Colorado Boulder (공학박사)
- 2000년 8월 ~ 2001년 12월 : Univ. of Colorado, Denver (Research Fellow)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

철근콘크리트 구조해석, 전산구조, 내진성능평가

박 관 수(Kwan-soo, Park)

[정회원]



- 2003년 2월 : 중앙대학교 건축학과 (건축학학사)
- 2005년 8월 : 한국남동발전 영흥화력 공사감독
- 2012년 12월 ~ 현재 : 한국남동발전 건설기술처 차장

<관심분야>

내진설계, 건축구조