

전력시설물의 내진설계 ①



글/기술사 이순형

(주)선강엔지니어링 대표이사

건축전기설비기술사, 전기안전기술사

우리나라도 지진에 대한 안전지역이라고 할 수 없다. 최근 2~3년 사이에 지진의 빈도가 급격히 늘어나고 있으며 과거 지진기록을 토대로 조사한 바에 의하면 규모 7.0이상의 지진이 발생한 경우도 있다. 최근 50년 동안에도 지리산 지진, 속리산 지진, 평양 앞바다의 황해 지진, 1978년 10월 7일에 발생한 홍성 지진의 경우 규모 5.0이상의 강도가 큰 지진이었고 최근에 들어와 국내 지진 횟수가 크게 늘어나고 또한 이와 같은 지진이 향후 대도시와 주요시설이 밀집된 지역에서 발생될 경우 우리나라와 같이 내진대책이 특별히 없는 경우는 그 피해가 막대할 것이다. 따라서 앞으로 시설될 건축물은 물론이고 전력시설물에 대해서도 내진설계(耐震設計)를 필히 적용 해야하고 특히 원자력발전소를 비롯한 주요댐과 발전소, 변전소, 전기철도, 공항, 지하시설물등과 같이 지진발생시에 재산피해와 인명피해는 물론 사회혼란이 클 것으로 예상되는 전력시설물에도 내진설계를 해야한다. 그동안 국내의 자료를 기준으로 관심있게 연구한 부분을 이번 기회에 몇가지 소개하고 구체적인 전력시설물 설계기법에 대해서는 다음 기회에 소개하기로 한다.

1. 지진의 발생과 강도

1) 지진의 원인

지진발생의 주요원인은 마그마(magma)의 작용설과 造山力(epeirogenic force)의 작용설이다. 마그마의 작용설에 의하면 약간 단단하게 굳어 있는 지각중에서 부분적으로 열(熱)과 응력(應力)의 평형이 깨지면서, 여기에 압입하려는 마그마가 기존의 균열을 넓히거나, 새로운 균열을 만들기도 한다. 조산력의 작용설에 의하면 조산력 때문에 지각내의 변형이 축적되어 결국 그 일부가 파괴되어 급격히 에너지가 방출된다는 것이다.

이 경우 조산력은 맨틀내의 대류에 의하여 일어난다고 하는 학설이 널리 알려져있다. 1회의 지진시 발생되는 최대에너지는 약 5×10^{16} erg정도라고 하는데 이것은 지구가 지표로부터 열의 흐름으로써 1년간 방출한 에너지의 약 1/1000에 해당한다.

지진의 발생위치를 진원(epicenter), 그 바로위의 지표상의 위치를 진앙이라고 한다. 진원은 지표상의 관측점에서 지진량을 관측하여 기록한다. 지진을 진원의 깊이에 따라 분류할때 30km이내를 극잔발(極殘發)지진, 30~100km을 잔발지진, 100km이상을 심발(深發)지진이라 부르며 진원깊이의 한계는 700km라고 한다.

지각내에는 종파와 횡파의 2종류의 파동이 전파한다.

$$T = \frac{S}{\beta} - \frac{S}{\alpha}$$

$$\therefore S = \left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\alpha} \right)^{-1} T$$

여기서

- S : 진원으로부터 관측점까지 거리 (km)
- β : 횡파의 평균 전파속도 (m/sec)
- α : 종파의 평균 전파속도 (m/sec)
- T : 종파와 횡파가 관측점에 도달하는 시각의 차이

2) 지진의 강도 (진도)

어느 특정지점에 대한 지진의 크기를 나타내기 위해서는 진도라는 용어를 사용하고 있다. 지진과 같은 복잡한 현상을 하나의 척도로써 양적으로 표시하는 것은 무리가 따르므로 용어의 내용을 명확히 하기 위해서는 지진의 실제감각에 부적합한 경우가 있는 반면, 실감으로만 규정하면 내용이 명확하지 않은 결점이 있다. 현재 이용되고 있는 진도에는 이와 같은 내용이 포함되는 것도 있으나 각각의 목적에 따라 편리한 쪽을 사용하고 있다. 또 양자의 관계도 대략 알려져 있다.

일본기상청(JMA)이 1949년에 정한 진도계(Seismic Intensity Scale)는 후자의 측면에서 결정된 것이고, 우리나라도 이를 이용하고 있으며 그 내용은 다음과 같다.

- ① 無感 : 인체에 느껴지지 않고 지진계에만 기록되는 정도의 지진
- ② 微震 : 정지하고 있는 사람이나 지진에 주의 깊은 사람에게만 느껴지는 정도의 지진 (0.008 ~ 0.002g)
- ③ 輕震 : 많은 사람에게 느껴지며 창문이 약간 움직이는 것을 알 수 있는 정도의 지진 (0.0025 ~ 0.008g)
- ④ 弱震 : 가속이 흔들리고 창문이 덜그럭거리며 전등처럼 매달려있는 물체가 심하게 흔들리며 그릇 안의 수면이 움직이는 것을 알 수 있는 정도의 지진 (0.008 ~ 0.025g)
- ⑤ 中震 : 가속이 심하게 흔들리며 불안정한 꽃병이 넘어지고 그릇 안의 물이 넘쳐 흐른다. 보행자도 느끼며 많은 사람이 집 밖으로 뛰어나오는 정도의 지진 (0.025 ~ 0.08g)
- ⑥ 强震 : 벽이 갈라지고 비석 석등 등이 넘어지며, 굴뚝, 돌담이 파손되는 정도의 지진 (0.08 ~ 0.25g)
- ⑦ 烈震 : 무너지는 가속이 30% 이하이며, 산사태

가 일어나고 지면이 갈라지며 사람이 서 있을 수 없는 정도의 지진 (0.25 ~ 0.4g)

- ⑧ 激震 : 무너지는 가속이 30% 이상이며, 산사태가 일어나고 지면이 갈라지며, 단층이 생기는 정도의 지진 (0.4g 이상)

북미지역에서 일반적으로 이용되고 있는 진도계는 1931년에 제정된 수정 Mercalli 진도계(MMM)이며 다음과 같이 12계급으로 분류되어 있다.

- ① 매우 좋은 조건에 있는 극소수의 사람만이 느낀다.
- ② 건물 위층에서 정지해 있는 소수의 사람에게만 느껴진다. 예민하게 매달린 물건이 흔들린다.
- ③ 옥내에서, 특히 건물 윗층에서 뚜렷하게 느껴지나 많은 사람들이 지진으로 간주하지 않는다. 정지한 차가 조금 흔들리며 트럭이 지나가는 듯한 진동이 있다. 지속시간을 추정할 수 있다.
- ④ 낮에 옥내에서 많은 사람들에게 느껴지나 옥외에서는 소수의 사람에게만 느껴진다. 밤에는 잠을 깨는 사람이 있다. 접시나 유리창 및 문틀이 흔들리며 삐걱거리는 소리를 낸다. 무거운 트럭이 건물과 충돌하는 느낌이 들며 정지한 자동차가 눈에 띄게 흔들린다(0.0015 ~ 0.02g).
- ⑤ 거의 모든 사람에게 느껴지며 많은 사람이 잠을 깬다. 접시나 유리창 등이 깨어지기도 하며 석회벽에 금이 가고 불안정한 물체가 넘어진다. 나무나 장대 등 긴 물체가 흔들리는 것을 때로 볼 수 있다. 추시계가 정지하기도 한다 (0.03 ~ 0.04g).
- ⑥ 모든 사람이 느끼고 놀래서 밖으로 달려나가는 사람이 많다. 무거운 가구가 움직이고 석회벽이 떨어지며 굴뚝이 파손되는 경우도 있다. 가벼운 피해가 발생한다(0.06 ~ 0.07g).
- ⑦ 모든 사람이 옥외로 달려 나간다. 잘 설계 시공된 건물에 대한 피해는 무시할 수 있을 정도이다. 잘 축조된 보통 건물에 대한 피해는 가볍거나 중간 정도이며 부실하게 축조하거나 설계가 잘못된 건축물은 상당한 피해를 입는다. 굴뚝들이 넘어지는 경우도 있으며 운전 중의 사람에게도 느껴진다(0.10 ~ 0.015g).

전 력 시 설 물 의 내 진 설 계

<표 1> 세계의 대표적인 지진 피해

발생년월일	장 소	피 해	규 모(M)
1960. 05. 21	칠 레	5,700명 사망	8.5
1962. 09. 01	이 란	10,000명 사망	7.2
1968. 08. 31	이 란	11,588명 사망	7.3
1970. 05. 28	터 키	19,086명 사망	7.1
1972. 03. 10	이 란	5,374명 사망	6.9
1976. 02. 04	파테말라	약 23,000명 사망	7.5
1976. 07. 27	중 국	650,000명 사망	8.0
1978. 09. 16	이 란	약 15,000명 사망	7.7
1980. 11	이태리	4,800명 사망	7.2
1990. 06. 20	이 란	40,000~50,000명 사망	9.7
1997. 05. 10	이 란	약 2,400명 사망(40,000명 부상)	7.1
1997. 07. 10	베네수엘라	약 400명 사망	6.9

출렁이며 측량선이나 水準面이 변한다. 물건들이 공중으로 튀어나간다.

2. 지진의 피해

지진에 의한 피해는 다른 재해에 비하여 파괴의 규모나 인명피해의 정도가 매우 크다. 그동안 대규모 지진피해는 1556년 1월 중국의 센-슈에서 발생한 지진으로 83만명의 인명피해를 비롯하여 최근 97년도까지 세계 각국에서 수많은 지진이 일어나고 있으며 그 피해 또한 막대하다 하겠다. 지진에 의한 피해는 지면의

⑧ 특수하게 설계된 건축물에 대한 피해는 가벼우나 보통으로 견고하게 지은 건물도 부분적으로 붕괴되는 상당한 피해를 입으며 부실하게 지은 건물은 큰 피해를 입는다. 판벽널이틀로부터 튀어나오며 굴뚝, 공장에 쌓아 놓은 상품, 기둥, 기념비, 벽 등이 무너진다. 무거운 가구가 넘어진다. 모래와 진흙이 소량 분출되며 샘물이 변한다. 운전자가 흔들린다(0.25~0.330g).

⑨ 특수 설계된 건물이 큰 피해를 입으며 잘 설계된 구조건물이 기운다. 견고한 건물이 부분적으로 붕괴되며 큰 피해를 입는다. 빌딩이 기초로부터 벗어난다. 지면이 눈에 띄게 갈라지며 매설관이 파괴된다(0.50~0.55g).

⑩ 잘 지은 목조건물이 파괴되는 경우가 생긴다. 대부분의 석조 및 구조물들이 기초부터 파괴된다. 지면이 심하게 갈라지며 철로가 휘다. 급한 비탈에서 적지않은 사태가 일어난다. 모래와 진흙이 이동하며 물이 독에 튀어 넘쳐 쏟아진다(0.60g 이상).

⑪ 서있는 건물이 거의 없다. 있다해도 석조건물 뿐이다. 교량이 파괴되고 모든 지면에 넓은 균열이 발생한다. 지하 매설관들이 전혀 사용 불가능해진다. 흙이 무너지고 연약지반에서 사태가난다. 철로가 심하게 굽는다.

⑫ 전체적인 피해가 발생한다. 지면이 파도처럼

이 있으며 특히 건축물이나 변전소등은 구조물의 질량 중심과의 수평저항, 구조물의 수평진동과 비틀림이 복합적으로 작용해서 파괴된다. 또한 인접 시설물과의 팽창접합으로 인하여 지진시 가벼운 충돌에 의해 부분적 또는 전체적 파괴와 전력시설물의 정전 및 사고가 일어난다.

1) 세계 각국의 지진 피해

<표 1> 세계의 대표적인 지진 피해

2) 한반도의 지진 피해

최근 한반도의 지진활동은 약 200년 동안 지진 정지기에 있다가 20세기부터 다시 활발해지기 시작했다. 고려시대 이후 MM V이상의 주요지진은 경상도 및 충청도 (남부지역)에서는 지진을 관측할 수 있었으나 경기도 서울지역(중부지역)에서는 과거에는 지진이 많이 발생하였음에도 불구하고 최근에는 뚜렷한 계기지진은 하나도 관측되지 않았다. 즉 남부지역은 변형에너지의 축척과 방출이 어느정도 균형을 이루었다고 볼 수 있으나 중부지역은 에너지의 축척만이 지속 되어온 지진 정지기로 간주된다. 고려, 이조시대의 지진사를 보면 개

【주】 위에서 ()내의 g는 중력가속도 980cm/sec²이다. JMA진도계와 MM진도계의 대응을 정확히 나타내기는 어렵지만 대략 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$1M = 0.5 + 1.5 \text{ IJ} \text{ (여기서, 1M:MM 진도계 IJ:JMA 진도계)}$$

<표 2> 올해 발생한 국내지진현황

(1997. 7. 현재)

발생년월일	규모	발생지역
1997. 01. 03	2.9	전남 홍도 북쪽 60km
1997. 01. 15	3.2	강원 속초 북동쪽 20km
1997. 03. 09	2.8	원산 남서쪽 20km
1997. 04. 23	2.5	충남 보령군 대천 서남서 60km
1997. 05. 09	3.2	전남 영광 남서쪽 37km
1997. 05. 09	3.0	전남 영광 남서쪽 37km
1997. 05. 10	2.5	강원 삼척 남서쪽 9km
1997. 05. 22	3.5	전북 익산 북쪽 19km
1997. 06. 15	2.8	경기 시흥 서쪽 50km
1997. 06. 15	2.7	경기 시흥 서쪽 50km
1997. 06. 16	2.7	경남 울산 남쪽 10km
1997. 06. 26	4.0	경주 남동쪽 6km

성, 강화, 서울, 수원 및 강원도에서도 강진과 열진이 자주 발생하여 피해가 있었다는 기록이 있다. 그러나 그후 관측되지 않은 것은 지진 안전지역임을 의미하는 것은 아니다. "지진이 발생한 지역에서 또 발생한다"는 기초적인 탄성반발설에 기인하여 중부지역은 오히려 지진 위험지역으로 간주된다. 더욱이 인구밀도가 조밀하고 고층건물이 많은 서울 및 대도시 지역은 지진피해 방지대책을 특별히 강구해야 하며 또한 원자력 발전소 등도 별도의 대책을 세워야 한다.

① 최근의 지진피해와 규모

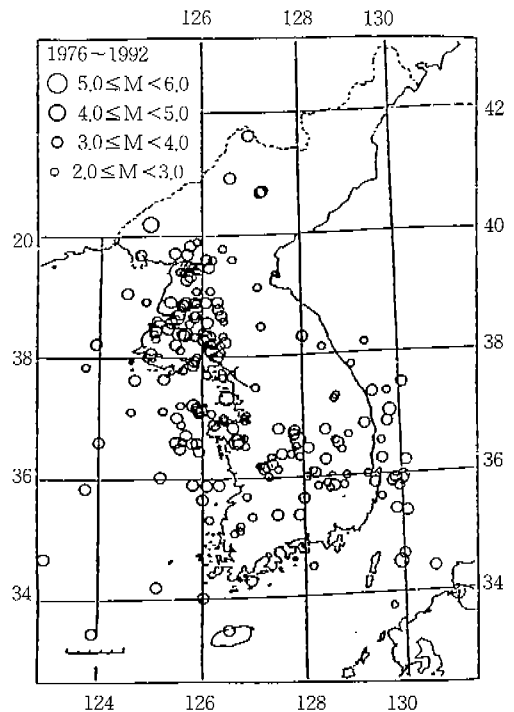
한반도의 최근 지진발생지역인 남부지역은 그동안 지진 정지기에서 벗어나 오랫동안 축적된 변형 에너지를 최근에 와서 방출하기 시작했다. 그중 1963년 7월3일 쌍계사 지진 ($M=5.3$), 1968년 9월6일 동해지진 ($M=5.4$), 1978년 9월 15일 속리산 지진 ($M=5.2$) 그리고 1978년 10월 7일 홍성지진 ($M=5.0$) 등 주요지진들이 발생하고 있다. 서북부 지역에서도 그동안 지진 정지기에서 벗어나 1944년 12월 19일 평양 앞바다 황해지진 ($M=6.75$), 1982년 2월14일 황해도 사리원지방의 지진 등으로 방출이 있었다. 쌍계사 지진은 강진이였으며 진앙도 쌍계사 지진의 진원의 깊이는 10km로 추정되었으며 이에 의한 피해 상황은 하동군 하개면에서 4명이 부상을 입었으며 부분적으로 붕괴된 가옥이 10채, 전파가옥이 3채였으며 부상자 4명중 2명은 돌

담이 무너져 부상을 입었다. 또 도로는 13개소에서 총 연장 1km정도 파손되었다. 홍성지진은 1978년 10월 7일 18시 21분 경에 발생했으며 홍성군 홍성읍내의 최대진도는 규모 5이었다. 이 지진은 한반도 남부에서 광범위하게 감지되었으며 부상 2명 가옥 및 빌딩 반파 13채 부분파손 41채 유리파손 균열(2,066건)과 기타 문화재, 굴뚝, 장독, 축대, 담장 등이 손상되었으며 당시의 가격으로 199,955,000원 정도의 피해액이 발생되었다.

상기의 피해는 남부지방의 경우에 해당되고 있으나 이러한 규모의 지진이 중부지방인 서울 등에서 발생할 경우 그 피해는 크게 늘어날 것이며 지난해(1996)에는 모두 40차례의 지진이 발생했으며, 92년 15회, 93년 22회, 94년 25회, 95년 29회, 올해 7월 현재 벌써 12회가 발생해 해마다 지진이 증가추세에 있다<표 2>.

② 우리나라의 진앙분포 <그림 1, 2>

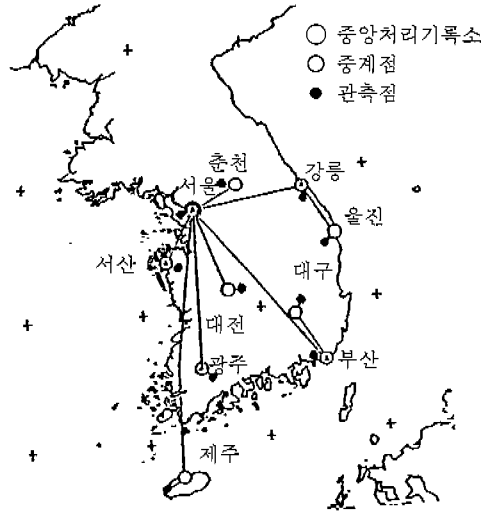
경남 양산단층대 일대에서 1996년 한해동안 소



<그림 1> 진앙분포

전 력 시 설 른 의 내 진 설 계

규모지진이 연간 55회나 발생한 것으로 관측됐으며 특히 전체적인 발생건수 가운데 15~20회가 경북 경주시 불국사 근처에서 반경 20km이내에서 일어났다. 전남 영광에서도 94년 이후 모두 8차례 지진이 발생했으며 규모 3.0이상의 강진이 5차례나 발생했다. 이러한 통계들이 원자력 발전소 부근에 많이 일어나고 있다. 우리나라의 지진위험 구역도는 제1구역 및 제2구역, 제3구역으로 나누었으며 제1구역은 강원도 지방 (회양, 고성, 양구, 인제, 홍천및 평창군)과 경상북도 일부 (울진, 영덕전) 전라남도및 제주도를 포함하여 MMⅦ을 나타내며 최대지반 가속도는 0.08g이다. 나머지 지역은 제2구역으로 진도는 MMⅧ이상이며 최대지반 가속도는 0.16g이다. 동해안의 강원도 지역이 제2지역에 포함되어 있으며 이밖에 제3구역으로 최대지반 가속도가 0.25g을 제시하고있다. 특히 활성단층 지대나 연약지반 등이 제3지역이며 향후 우리나라도 구체적인 지반조사를 하여 구체적지역을 설정하여 설계에 적용하도록 해야한다.



<그림 2> 우리나라 지진 감시망도

▶ 다음호에 계속됩니다

개시판

은정성을 기다립니다.

전기 관리일에 몸담고 생활한지 5년이 넘은 지난 8월 전기기사 자격증을 취득한 권혁중(회원번호 29016, 28세)씨가 지난 12월초 단순 빈혈증 세르 병원에 입원후 갑작스런 병세악화로 12월 5일 아주대 병원으로 옮기게 되었습니다.

아주대병원에서는 백혈병이라는 진단이 나왔고 혈소판의 감소로 갑자기 위험해 질수도 있다고 합니다. 앞으로 1년정도 병원에서 투병생활을 해야 하는데 면역력의 저하로 2인용 병실을 사용할수 밖에 없게 되었습니다.

2인용 병실은 의료보험이 적용되지 않아 하루에 65,000원의 입원비가 소요되며 각종 치료비와 함께 하루 200,000원 정도의 치료비가 소요됩니다.

앞으로 정기적으로 혈소판을 수혈받아야 하는데 혈소판을 수혈해줄 분이나 헌혈증서, 또는 치료비에 도움을 주실분은 아래의 연락처로 연락해 주

십시오. 회원 여러분의 작은 정성을 기다립니다.

♡ 아주대병원 11동11호 (환자직통전화 0331)219·6749, 연회시간 오전 12:00~14:00, 오후 18:00~20:00 문의전화 : 0343-54-6617 (이홍주)

♡ 입금계좌번호 : 주택은행 632925-01-004010
예금주 : 윤용호

축 하드립니다.

- 제주지부 문익희(No. 2721) 대의원 승진(12. 19)
 - 윤천혁 충북지부장 장녀 결혼식(12. 21)
 - 충북지부 오남식 직원 결혼식 (12. 28)
 - 광주·전남지부 허정숙 주임 결혼식(12. 28)
 - 본부 기획과 김성훈 대리 결혼식(98. 1. 10)
 - 전북지부 이현목 직원 결혼식 (98. 1. 11)
 - 협회 경기지부 배영탁 직원 결혼식(98. 1. 18)
- ♡ 진심으로 축하드립니다.