

## 지진발생에 따른 지중연성관의 거동특성 분석

### Analysis of Behavior for Underground Flexible Pipes Under Seismic Loads

김 경열<sup>1)</sup>, Kyoung-Yul Kim, 홍 성연<sup>2)</sup>, Sung-Yun Hong, 이 대수<sup>3)</sup>, Dae-Soo Lee

<sup>1)</sup>한전 전력연구원 선임보연연구원, M.T.S, Korea Electric Power Research Institute(patric@kepri.re.kr)

<sup>2)</sup>한전 전력연구원 일반연구원, M.T.S, Korea Electric Power Research Institute

<sup>3)</sup>한전 전력연구원 책임연구원, P.M.T.S, Korea Electric Power Research Institute

**SYNOPSIS** : Flexible pipes (corrugated polyethylene pipes) are normally used for underground power distribution grids. In this paper, dynamic analysis was carried out through FEM in order to investigate the structural behaviour of pipes subjected to seismic loads. The burial depth and the number of pipes were major parameters in the numerical analysis to determine the response of pipes. The results show that the displacement of pipes under given conditions are all satisfactory in comparison of the allowable strain criteria -maximum 3.5 %.

**Key words** : underground flexible pipes, strain criteria, seismic loads

## 1. 서 론

최근까지 국내에서는 지진이 발생하는 빈도가 낮아서 사람들이 직접 지진을 경험해 볼 기회가 흔하지 않았다. 따라서 많은 사람들은 우리나라에서 지진이 발생하지 않을 것으로 생각하고 있으며 지진에 의해서 자신도 피해를 입을 수 있다는 사실에 대해서는 전혀 실감을 하지 못하고 있는 실정이다. 그러나 지진학 분야의 전문가들이 분석한 결과에 의하면 우리나라에서도 상당한 피해를 줄 수 있는 지진이 발생할 가능성이 있는 것으로 판단되고 있다.

국내의 경우 구조물에 가벼운 정도라도 피해를 준 지진은 1978년에 충청남도 홍성에서 발생한 지진과 1996년 강원도 영월에서 발생한 두차례의 지진이다. 이들 지진의 규모는 각각 5.0과 4.5에 불과하여 약간의 구조적인 피해를 발생시키는데 그쳤으나, 이들 지진이 의미하는 바는 상당히 크다고 볼 수 있다.

국내에서 지진에 대한 인식이 고조되기 시작한 것은 1995년 1월 17일 규모 7.2의 "Hyogoken Nanbu" 대지진이 일본 고베지역을 강타하고, 1996년 강원도 영월지진이 발생한 이후이다. 건교부에서는 1997년에 이르러 토목 및 건축구조물에도 내진설계의 필요성을 인식하고 한국지진공학회에 의뢰하여 내진설계 기준을 수립하기에 이르렀다.

이후 정부에서는 자연재해대책법에서 내진설계 대상시설을 지정하고 각 기관별로 내진설계 기준을 제정하여 지진재해에 대비하도록 조치를 취하였다.

이에 본 연구에서는 매년 그 규모가 늘어나고 있는 지중배전설비 구조물중 토압을 받는 지중연성관에 대하여 지진이 발생하였을 경우 지중연성관의 안정성을 분석할 수 있는 내진해석을 수행하여 지중연성관의 거동특성을 분석하였다.

## 2. 내진해석 기준

현재까지 정립된 토목구조물에 대한 내진설계 방법으로는 크게 의사정적해석법(진도법, 수정진도법, 응답변위법)과 동적해석법(응답스펙트럼법, 시간이력해석법, 주파수영역법)으로 나눌수 있으며, 본 연구에서는 동적해석법중 시간이력해석법을 이용하여 지중연성관의 거동현상을 확인하였다. 이 방법은 구조물과 지반을 진동모델로 모형화한 후 실제 기록된 지진파를 요건에 맞도록 인공적으로 수정하여 해석을 수행하므로 실제 현상에 가까운 거동을 재현할 수 있는 장점이 있다.

### 2.1 안정성 판단기준

지중에 매설되는 연성관의 종류에는 PVC(Polyvinyl Chloride), ABS(Acrylonitrill Butadiene Styrene), FRP(Fiberglass Reinforced Plastics), PE직관(Polyethylene Pipe), PE파형관(Corrugated Polyethylene Pipe) 등 여러 종류가 있으나, 본 연구에서는 현재 전력선 보호관으로 가장 많이 사용되고 있는 PE파형관을 연구대상으로 하였다. PE파형관의 일반적인 규격은 표 1과 같으며 그 모양은 그림 1과 같다. 연성관의 안정성 판정에 이용되는 대표적인 방법은 관재의 압축변형에 관한 편평(압축)시험이며 안정성을 판정하는 기준은 관재의 바깥지름 변형율이 3.5%이하이어야 한다라고 KS C8455에 규정되어 있다.

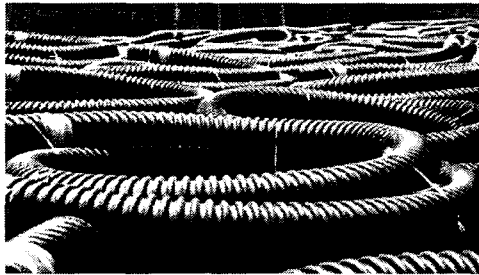


그림 1. PE파형관

표 1. PE파형관 규격

외 경 (mm)	230
내 경 (mm)	175
최소두께 (mm)	3.5 이상
인장응력(kg/cm <sup>2</sup> )	225 이상
압축 하중 (kg)	273 이상

### 2.2 입력 지진

현재 일반 발전소, 전력설비 및 건축물의 내진설계 대상과 기준은 ① 건축법 제 38조(구조 내력 등) ② 동법 시행령 제 30조(구조안전의 확인) ③ 건설부령 “건축물의 구조기준 등에 관한 규칙” 제 14조(지진하중)에 의거 제시되고 있으며, 표 2에서 보는 바와 같이 본 해석에 사용될 설계지진력은 배전설비의 설계지진력인 0.12g를 사용하는 것으로 하였다.

표 2. 내진설계 기준

구 분	대상설비 및 구조물	관련법	설계지진력	해석방법
수력발전소	댐	전기사업법	0.12g	등가정적
화력발전소	발전소본관등 중요건물	건축법	구역 2(0.12g)	등가정적
	기타 설비	-	고려하지 않음	-
송-배전설비	배전설비, 변전소 송전설비	건축법 -	구역 2(0.12g) -	등가정적
기타 건축물	연면적1,000m <sup>2</sup> 이상인 공 공시설, 6층이상 아파트	건축법	구역 1~2 (0.08~0.12g)	등가정적
	기타 건축물	-	고려하지 않음	-

### 3. 전산 해석

지진에 대한 안정성을 동적해석법으로 손쉽게 수행할 수 있는 방법이 전산해석이다. 해석에서 사용된 프로그램은 2차원 유한요소(FEM) 프로그램인 AFIMEX로, 프로그램 내부에 내진 전용솔버(SAMBA)가 내장되어 있어 동적해석을 수행하는데 유용한 프로그램이다. 해석에 사용된 매설깊이는 천층매설깊이(80, 100, 120cm)로 하였으며, 매설조건은 현행 지중배전공사에서 가장 많이 사용되고 있는 2단 3열 및 3단 3열 배열을 사용하였다.

#### 3.1 입력 자료

##### 3.1.1 도로단면의 물성치

본 연구에 사용된 도로단면의 물성치들은 현재 주요 간선도로 및 이에 준하는 도로의 아스팔트 포장 단면(A-1급)아래에 시공되고 있는 재료값들을 입력 물성값으로 사용하였다(표 3). 원지반은 조밀한 점토질 흙(Dense Clay)을 대상으로 추정하였다. 되메우기 재료로는 지중배전 설계편람(조성수,1999)에 기술되어 있는 모래 또는 양질의 토사에 대한 다짐도 85%값을 입력하였다.

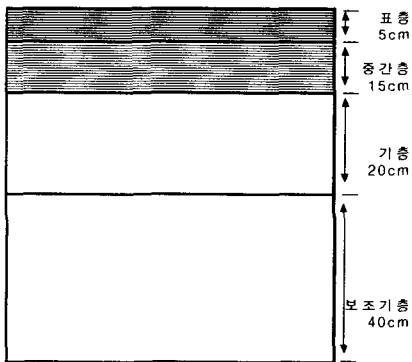


그림 2. A-1급 포장도로 단면도

표 3. 포장도로 층별 물성치

구분	표층	중간층	기층	보조기층	모래	원지반
층두께(m)	0.05	0.15	0.2	0.4	-	-
전단강성(t/m <sup>2</sup> )	80,769	73,077	10,714	7,143	833	431
감쇠정수	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01	0.02
점착력(t/m <sup>2</sup> )	1	0.1	0.1	0.1	0	5.0
내부마찰각(deg)	35	35	35	35	35	25
단위중량(t/m <sup>2</sup> )	2.3	2.3	2.3	2.2	1.615	1.8

##### 3.1.2 PE파형관의 물성치

해석에 사용된 PE파형관의 특성을 나타낼 수 있는 기본적인 요소로는 탄성계수, 단면2차모멘트, 단면적, 단위중량, 포아송비 등을 들 수 있으며 이들 요소는 보(beam)의 성질을 나타내는데 주로 쓰인다(표 4).

표 4. PE 파형관 물성치

탄성계수 (t/m <sup>2</sup> )	단면2차모멘트 (m <sup>4</sup> )	단면적 (m <sup>2</sup> )	단위중량 (t/m <sup>2</sup> )
70,000	4 × 10 <sup>-9</sup>	0.0035	0.95

##### 3.1.3 시간 이력곡선 및 경계조건

동적해석에 사용된 시간이력곡선은 1978년에 일본의 미야기현에서 기록된 입력가속도를 이용하였다. 해석에 사용된 입력가속도의 데이터수는 1700개이며, 지진하중의 크기는 변전설비 설계지진력인 0.12g(117.6gal)를 최대 가속도로 입력하여 동적해석을 수행하였다(그림 3). 지진파의 가진 위치는 측방

경계하부에 지진파가 전달되는 조건으로 하였다. 해석에 사용된 단면은 차량 접지폭의 6B인 3.0m정도로 모델링을 실시하였으며, 기반면은 원지반 효과를 고려하기 위해 점성경계로, 좌우측은 자연지반으로 경계조건을 부여하여 해석을 수행하였다.

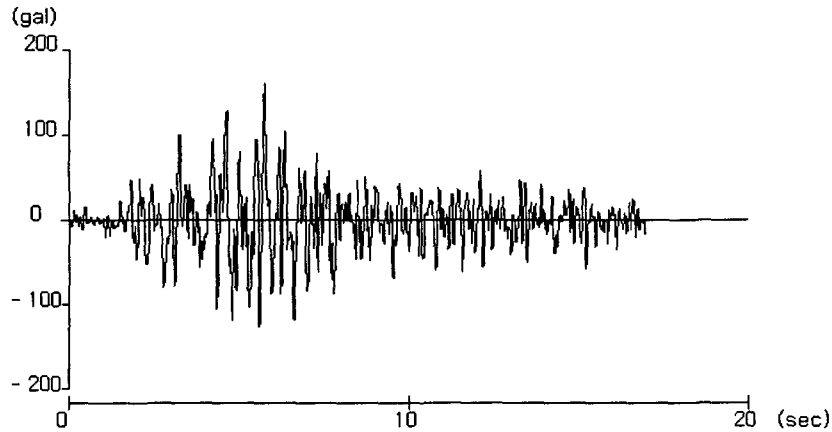


그림 3. 시간이력곡선(MIYAGI in JAPAN, 1978)

### 3.2 해석결과 및 분석

그림 4와 5는 해석단면중 지중에 연성관을 2단 3열 및 3단 3열로 배열하고 관상단까지 천층매설깊이 (100cm)하였을 때 유한요소해석에 이용된 모델도를 대표적으로 나타낸 것이다.

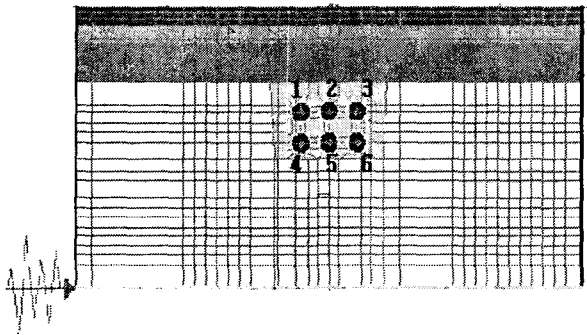


그림 4. 매설깊이 100cm일 때 모델도(6공)

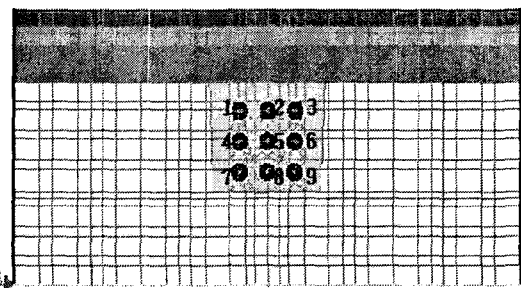


그림 5. 매설깊이 100cm일 때 모델도(9공)

#### 3.2.1 2단 3열 (6공)

2단 3열 조건하에서 전산해석에 의한 매설깊이별 변위량의 범위는 0.14 cm에서 0.18cm의 분포로 나타났으며 이를 변형율로 환산하면 최소 0.62 %부터 최대 0.80%까지 변형율이 발생하는 것으로 나타났다. 이 값들은 허용변형율 3.5%를 밑도는 수치로 설계지진력(0.12g)이 발생하여도 지중에 묻히는 연성관은 허용변형율 이하에 있음을 알 수 있다. 지진하중이 왔을 때 각 관로에서 발생하는 변형의 크기를 살펴보면 주로 중앙에 위치한 관로에서 최대 변위가 발생하는 것으로 나타났는데, 그 원인은 중앙에 위치한 관은 좌우측에 위치한 관에 의해 구속을 받아 하중을 분산시킬 수 있는 방향이 상대적으로 협소하기 때문이며, 지진하중이 작용할 경우 중앙관은 그 하중을 관재의 변형으로 소산시키므로 중앙관의 변위가 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 중앙에 위치한 관로는 좌우에 위치한 관로에 의해 구속을 받기 때문에 지진하중의 감쇠가 상대적으로 작음을 알 수 있다(표 5).

매설깊이별 변형율의 크기는 거의 비슷한 양상을 보여 주고 있는데 관로 주변에 위치한 되메움재인

모래의 감쇠비가 일정하고 관재별 매설깊이의 차(40cm)가 작은 관계로 매설깊이에 따른 변형율의 크기는 차이가 없는 것으로 판단된다(그림 6).

관로번호	80 cm		100 cm		120 cm	
	최대변위(cm)	최대변형율(%)	최대변위(cm)	최대변형율(%)	최대변위(cm)	최대변형율(%)
1	0.14	0.62	0.15	0.65	0.15	0.65
2	0.16	0.68	0.17	0.73	0.17	0.74
3	0.14	0.63	0.15	0.65	0.15	0.65
4	0.16	0.70	0.16	0.71	0.17	0.75
5	0.18	0.77	0.17	0.76	0.18	0.80
6	0.16	0.70	0.16	0.71	0.17	0.75

표 5. 각 해석결과 비교(6공)

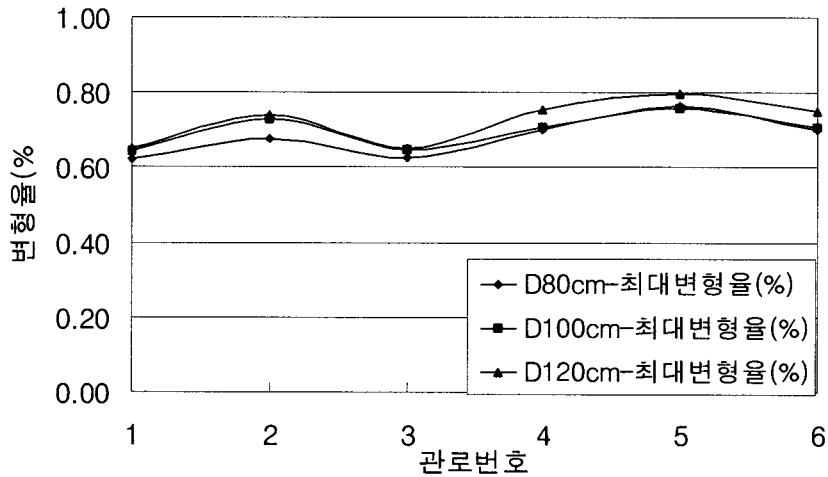


그림 6. 2단 3열 해석결과 비교(변형율)

최대 변형이 발생하는 단면(매설깊이 120cm)에 대해 입력가속도인 117.6gal(0.12g)이 지표면과 관로의 최하단부 및 모래와 기반면이 만나는 지점에서 각각 어떠한 크기로 증폭되는 가를 확인하였다(그림 7)

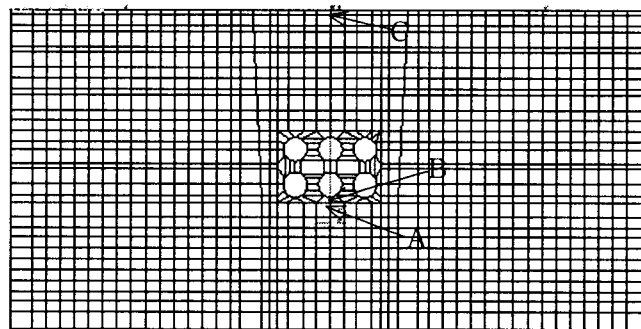


그림 7. 2단 3열 모델도(6공)

기반면인 A지점에서 나타난 가속도의 크기(240gal)는 입력가속도(117.6gal)의 약 2배에 가까운 값을 보이고 있다. 지표면에서의 가속도는 약 530gal로 나타나 입력가속도 대비 5배에 가까운 증폭현상을 보이고 있으며, 관로 주변에서는 약 2배정도의 가속도 증폭이 있음을 보여주고 있다.

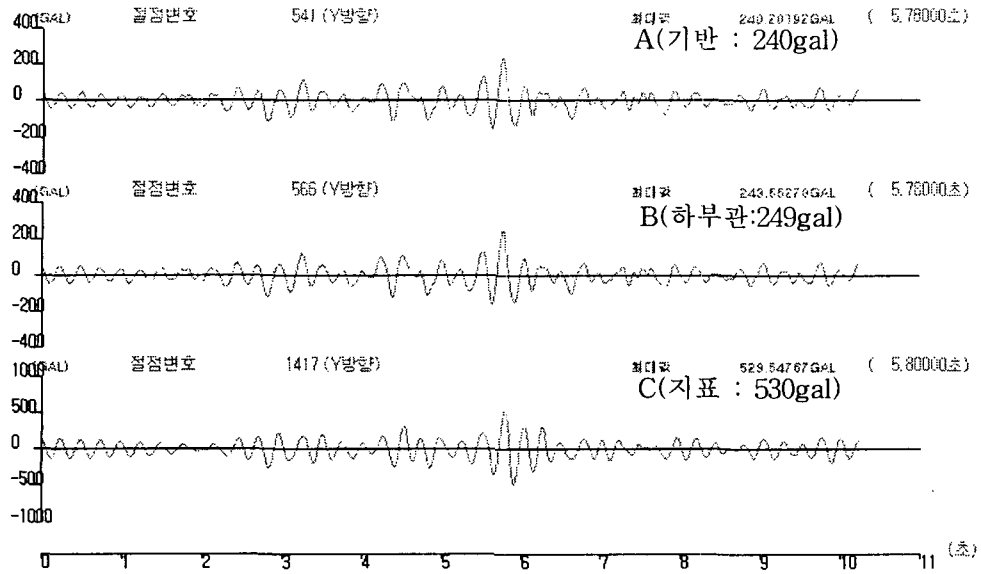


그림 8. 가속도 응답곡선 (6공)

### 3.2.2 3단 3열 (9공)

3단 3열 조건하에서 전산해석에 의한 매설깊이별 변위량의 범위는 0.13 cm에서 0.18cm의 분포로 나타났으며 이를 변형율로 환산하면 최소 0.58 %부터 최대 0.79%까지 변형율이 발생하는 것으로 나타났다. 이 값들은 허용변형율 3.5%를 밑도는 수치로 설계지진력(0.12g)이 발생하여도 지중에 묻히는 연성관은 허용변형율 이하에 있음을 알 수 있다.

3단 3열 조건하에서 지진하중이 왔을 때 각 관로에서 발생하는 변형의 크기는 2단 3열 배열시와 마찬가지로 주로 중앙에 위치한 관로에서 최대 변위가 발생하고 있는데, 그 원인은 중앙에 위치한 관로가 좌우측의 관에 의해 지진하중이 감소될 수 있는 방향이 한군데로 협소한 반면에 좌우측에 위치한 관로는 지진하중이 감소될 수 있는 방향이 가운데 관 보다는 여러 방향이기에 지진하중 발생시 중앙에 위치한 관은 하중을 변형으로 감소시키는 것으로 판단된다. 즉, 중앙에 위치한 관로는 좌우에 위치한 관로에 의해 구속을 받아 지진하중을 변형으로 감소시키고 있을 알 수 있다. 3단 3열 조건하에서 최대 변형이 발생하는 관로의 위치는 8번관으로써 지진하중이 작용하는 위치에서 가깝고, 좌우 관로에 의해 구속되고 있어 최대 변위가 발생하는 것으로 판단된다(표 6).

표 6. 각 해석결과 비교(9공)

관로번호	80 cm		100 cm		120 cm	
	최대변위(cm)	최대변형율(%)	최대변위(cm)	최대변형율(%)	최대변위(cm)	최대변형율(%)
1	0.14	0.60	0.15	0.67	0.15	0.65
2	0.15	0.64	0.17	0.72	0.16	0.71
3	0.14	0.60	0.15	0.67	0.15	0.65
4	0.13	0.58	0.14	0.62	0.15	0.66
5	0.14	0.62	0.15	0.66	0.16	0.70
6	0.13	0.58	0.14	0.62	0.15	0.66
7	0.17	0.72	0.16	0.71	0.18	0.77
8	0.17	0.73	0.18	0.78	0.18	0.79
9	0.17	0.72	0.16	0.71	0.18	0.77

매설깊이별 변형율의 크기는 6공 배열상태와 거의 비슷한 양상을 보여 주고 있는데 관로 주변에 위치한 되메움재인 모래의 감쇠비가 일정하고 관재별 매설깊이의 차(40cm)가 작은 관계로 매설깊이에 따른 변형율의 크기 또한 차이가 거의 없는 것으로 판단된다.

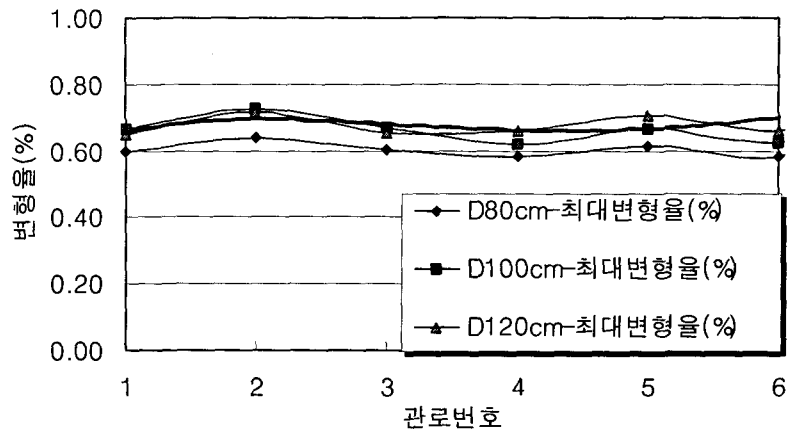


그림 9. 3단 3열 해석결과 비교(변형율)

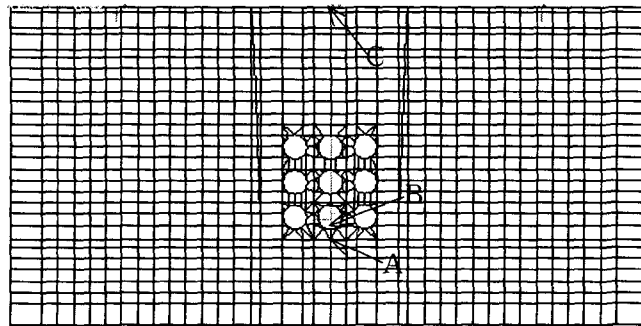


그림 10. 3단 3열 모델도(9공)

기반면인 A지점에서 나타난 가속도의 크기(178gal)는 입력가속도(117.6gal)의 약 1.5배에 가까운 값을 보이고 있다. 지표면에서의 가속도는 약 557gal로 나타나 입력가속도 대비 5배에 가까운 증폭현상을 보이고 있으며, 관로 주변에서는 약 2배정도의 가속도 증폭이 있음을 보여주고 있다.

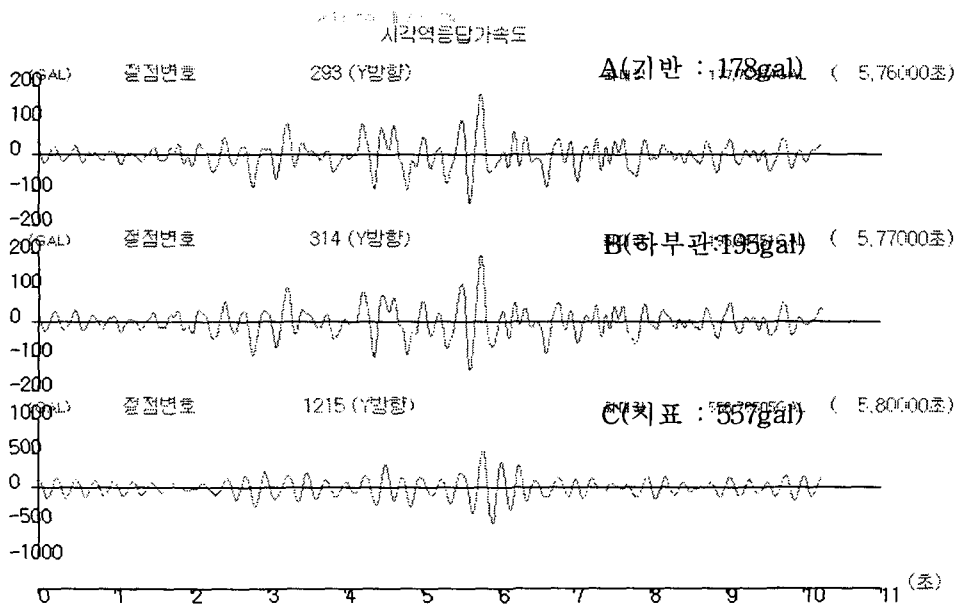


그림 11. 가속도 응답곡선 (9공)

## 4. 결론

본 연구에서는 지중에 묻힌 PE과형관이 지진하중에 의해 받는 영향을 동적해석법을 이용하여 분석하였으며, 매설깊이(80, 100, 120cm)와 관로 배열(6공, 9공)에 따른 안정성분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) A-1급 포장층 하부에 매설된 PE과형관에 설계 지진하중 0.12g가 작용하였을 때 관로에 나타난 변형율의 크기는 0.58%부터 0.80%까지로 나타나고 있으며, 이 값들은 관로의 안정성을 판단하는 기준인 허용변형율 3.5%보다 작은 값을 알 수 있다.
- 2) 관로의 최대 변형은 매설깊이별, 매설관로수에 상관없이 관로중 최하단의 중앙관로에서 발생하고 있으며, 이는 중앙에 위치한 관로가 좌우측의 관로에 의해 구속되어 감쇠효과가 상대적으로 작게 발휘되기 때문인 것으로 나타났다.
- 3) 최대 변형이 발생하는 단면에서의 가속도응답곡선을 확인한 결과 입력가속도(117.6gal) 대비 지표면에서의 최대 가속도(557gal)는 약 5배에 가까운 증폭현상을 보이는 것으로 나타났다.

## 참고 문헌

1. 김경열(2002), "토압을 받는 지중연성관의 내진해석에 관한 연구", 충남대학교 석사학위논문
2. 김팔규(1999). "최신 토질역학 상론" 학연사.
3. 조성수(1999), "지중배전 설계편람", 한국전력공사 전력연구원.
4. 片岡哲之(1988), "配電地中化における 車道下埋設ケ-ブル 防護管の 淺層埋設の 検討",電力中央研究所