

송유관설치공사의 내진설계기술기준(제5조제2호관련)

1. 용어의 정의

- 가. “내진특등급송유관”이라 함은 특별한 안전이 요구되는 배관으로서 국방부에서 관리·운영하는 국가안보유지에 필요한 목적으로 설치·운영하는 송유관을 말한다.
- 나. “내진1등급송유관”이라 함은 내진특등급 이외의 배관으로서 배관의 손상이나 기능상실이 공공의 생명·재산 및 환경에 상당한 피해를 초래할 수 있다고 판단되는 설계압력 1MPa 이상인 송유관을 말한다.
- 다. “내진2등급송유관”이라 함은 배관의 손상이나 기능 상실이 공공의 생명·재산 및 환경에 경미한 피해를 초래할 수 있다고 판단되는 배관으로서 내진특등급 송유관 및 내진1등급송유관 외의 송유관을 말한다.
- 라. “기능수행수준”이라 함은 설계지진 작용시 송유관에 발생한 변형이나 손상이 그 구조물 본래의 부여받은 기능을 정상적으로 수행할 수 있는 범위안으로 제한되는 성능수준을 말한다.
- 마. “붕괴방지수준”이라 함은 설계지진 작용시 송유관에 상당한 변형이나 손상이 발생할 수 있지만 그 수준과 범위는 기름 누출로 인한 폭발·화재 및 환경오염과 같은 재해가 초래되는 것을 방지할 수 있는 성능수준을 말한다.
- 바. “설계지반운동”이라 함은 부지의 정지작업이 완료된 지표면에서의 자유장운동을 말한다.
- 사. “표준설계응답스펙트럼”이란 지반운동에 대한 단자유도시스템의 응답속도를 고유주기 또는 고유진동수의 함수로 표현한 스펙트럼을 말한다.

2. 송유관의 등급분류

송유관은 배관의 설치·운영목적의 중요성과 지진에 의한 손상으로 인하여 초래될 수 있는 재해의 규모 및 범위를 고려하여 내진특등급송유관·내진1등급송유관 및 내진2등급송유관으로 분류한다.

3. 내진성능의 목표

- 가. 내진특등급송유관의 경우 기능수행수준은 평균재현주기 200년의 지진지반운동의 내진성능수준을, 붕괴방지수준은 평균재현주기 2천400년의 지진지반운동의 내진성능수준을 만족하여야 한다.
- 나. 내진1등급송유관의 경우 기능수행수준은 평균재현주기 100년의 지진지반운동 내진성능수준을, 붕괴방지수준은 평균재현주기 1천년의 지진지반운동의 내진성능수준을 만족하여야 한다.
- 다. 내진2등급송유관의 경우 기능수행수준은 평균재현주기 50년의 지진지반운동의 내진성능수준을, 붕괴방지수준은 평균재현주기 500년의 지진지반운동의 내진성능수준을 만족하여야 한다.

4. 설계지반운동의 수준 및 고려사항

- 가. 설계지반운동의 수준은 다음과 같이 분류한다.
 - (1) 50년의 지진지반운동의 평년재현주기 : 5년 내의 초과확률 10%
 - (2) 100년의 지진지반운동의 평년재현주기 : 10년 내의 초과확률 10%
 - (3) 200년의 지진지반운동의 평년재현주기 : 20년 내의 초과확률 10%
 - (4) 500년의 지진지반운동의 평년재현주기 : 50년 내의 초과확률 10%
-

- (5) 1천년의 지진지반운동의 평년재현주기 : 100년 내의 초과확률 10%
- (6) 2천4백년의 지진지반운동의 평년재현주기 : 250년 내의 초과확률 10%
- 나. 설계지반운동의 수준분류시 고려사항

- (1) 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향이 고려되어야 한다.
- (2) 설계지반운동은 부지정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의한다.
- (3) 흔들림의 세기, 주파수 내용 및 지속시간의 세 가지 측면에서 그 특성이 적정하게 정의되어야 한다.
- (4) 수평 2축 방향 성분과 수직방향 성분으로 정의한다.
- (5) 수평 2축 방향 성분은 세기와 특성이 동일하다고 가정할 수 있다.
- (6) 수직방향 성분의 세기는 수평방향 성분에 대한 비로서 암반지반인 경우 0.77, 토사지반인 경우 공학적 판단에 의해 값을 결정할 수 있고, 주파수 내용과 지속시간은 수평방향 성분과 동일하다고 가정할 수 있다.

다. 평균재현주기 500년의 지진지반운동에 해당하는 구역계수는 표 1과 같다.

[표 1 : 지진구역계수]

지진구역	행정구역	지진구역계수 (Z(g값))
I	시 서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 인천광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 세종시	0.11
	도 경기도, 강원도 남부(원주시, 강릉시, 동해시, 태백 시, 삼척시, 영월군, 정선군), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도	
II	도 강원도 북부(춘천시, 속초시, 홍천군, 횡성군, 평창 군, 철원군, 화천군, 양구군, 인제군, 고성군, 양양 군), 제주도	0.07

라. 평균재현주기별 최대유효지반가속도의 비를 의미하는 위험도계수는 표 2와 같다.

[표 2 : 위험도계수]

재현주기(년)	50	100	200	500	1,000	2,400
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1	1.4	2.0

마. 행정구역에 의한 방법으로 재현주기에 따른 유효수평지반가속도(S)는 지진 구역계수(Z)에 각 재현주기의 위험도계수(I)를 곱하여 결정한다.

$$S = Z \times I$$

바. 송유관이 설치되는 부지에 대한 지진재해도를 정밀하게 평가하고자 할 경우에는 국가지진 위험지도에 의한 방법으로 결정된 지진재해도를 사용할 수 있다. 다만, 이 경우 표 1의 행정구역에 의한 방법으로 결정된 값의 80%보다 작지 않아야 한다.

5. 지반의 분류

가. 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위한 지반의 분류는 표 3과 같다.

[표 3 : 지반의 분류]

지반 종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파(剪斷波, S파)속도, VS,Soil (m/s)
S1	암반지반	1 미만	—
S2	얇고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얇고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지고유의 특성평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

[비고]

1. 기반암 : 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층

2. 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S5 지반으로 분류

3. 토층의 평균 전단파속도는 탄성파시험 결과가 있을 경우, 이를 우선적으로 적용

나. 지반종류 S6은 부지고유의 특성평가 및 지반응답해석이 요구되는 다음과 같은 지반을 말한다.

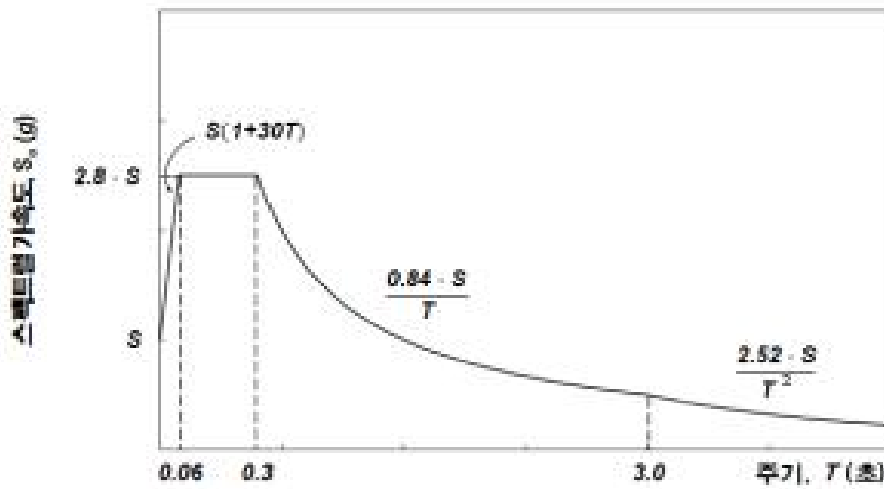
- (1) 액상화가 일어날 수 있는 흙, 예민비가 8 이상인 점토, 붕괴될 정도로 결합력이 약한 붕괴성 흙과 같이 지진하중 작용시 잠재적인 파괴나 붕괴에 취약한 지반
- (2) 이탄 또는 유기성이 매우 높은 점토지반(지층의 두께>3m)
- (3) 매우 높은 소성(塑性, Plasticity)을 띤 점토지반(지층의 두께>7m이고, 소성지수(Plasticity Index)>75)
- (4) 층이 매우 두꺼우며 연약하거나 중간 정도로 단단한 점토지반(지층의 두께>36m)

6. 설계지반운동의 특성 표현

가. 설계지반운동의 특성은 기본적으로 표준설계응답스펙트럼으로 표현하며 표준설계응답스펙트럼은 다음의 규정에 의한다.

- (1) 암반지반인 S1의 5% 감쇠비에 대한 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼은 그림 1에 정의된 것을 사용하고, 그 외의 감쇠에 대해서는 표 4의 감쇠보정계수를 곱하여 사용한다.

[그림 1 : 암반지반 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼]

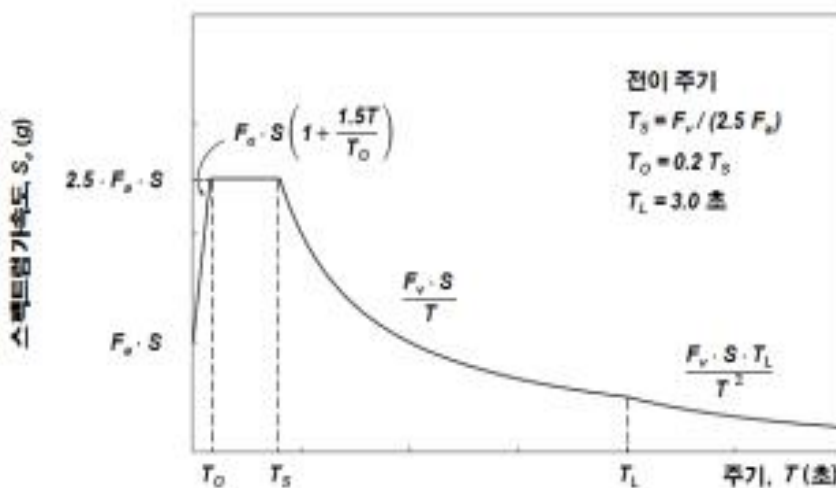


[표 4 : 감쇠보정계수]

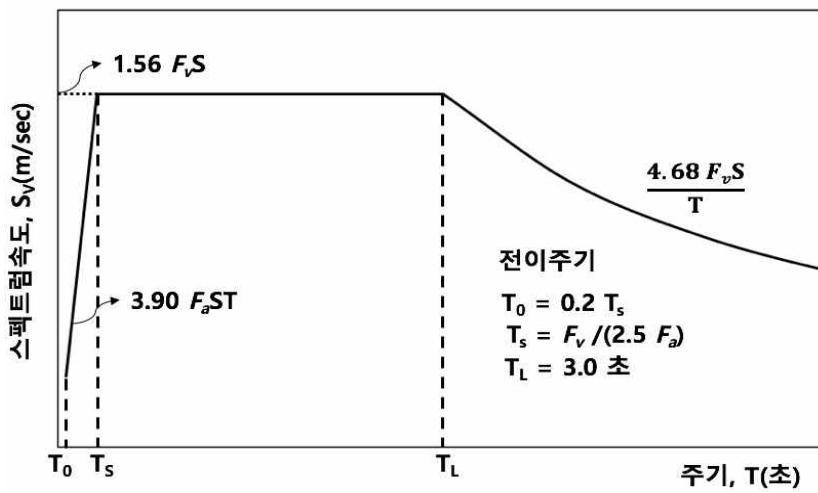
주기 (T , sec)	$T=0$	$0 \leq T \leq 0.06$	$0.06 \leq T$
C_D	모든 감쇠비에 대해서 1.0	$T=0$ 일 때, 1.0, $T=0.06$ 일 때, $\left(\frac{6.42}{1.42+\xi}\right)^{0.48}$ 그 사이는 직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42+\xi}\right)^{0.48}$
※ 단, 감쇠비가 0.5%보다 작은 경우에는 적용하지 않으며 해당 구조물의 경우 응답(시간)이력해석을 권장한다.			

(2) 토사지반인 S2, S3, S4, S5의 5% 감쇠비에 대한 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼과 속도 표준설계응답스펙트럼은 각각 그림 2, 그림 3로 정의하며, 그 외의 감쇠에 대해서는 공학적 판단에 의해 암반지반에 적용되는 표 4의 감쇠보정계수를 곱하여 사용할 수 있다. 지반증폭계수는 표 5와 같으며, 유효수평지반가속도(S)의 값이 중간 값에 해당할 경우 직선보간(두 값을 기초로 그 값들 사이의 함수 값을 구하는 근사계산법)하여 결정한다.

[그림 2 : 토사지반 수평설계지반운동의 가속도 표준설계응답스펙트럼]



[그림 3 : 토사지반 수평설계지반운동의 속도 표준설계응답스펙트럼]



[표 5 : 지반증폭계수]

지반 분류	단주기 증폭계수, F_a			장주기 증폭계수, F_v		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

나. 지표면의 한 점에서 지반운동은 파워스펙트럼(진동의 각 진동수 성분이 가지는 파워를 나타내는 스펙트럼을 말한다. 이하 이 목에서 같다)으로 정의된 랜덤프로세스(Random Process)로 표현될 수 있다. 파워스펙트럼은 표준설계 표준설계응답스펙트럼과 지반운동의 특성을 표현함에 있어서 일관성을 유지하여야 한다.

다. 설계지반운동 시간이력

- (1) 지반가속도 또는 속도나 변위의 시간이력으로 지반운동이 표현될 수 있다.
- (2) 공간적인 모델이 필요한 경우 지반운동은 동시에 작용하는 3개의 시간이력 성분으로 구성되어야 한다.
- (3) 암반지반에 대해 작성된 시간이력을 사용하여 지반응답해석을 통해 결정한다.

라. 인공합성 지반운동 시간이력

- (1) 인공합성 지반운동 시간이력은 표준설계응답스펙트럼과 잘 부합되도록 생성되어야 한다.
- (2) 지반운동의 장주기 성분이 구조물의 거동에 미치는 영향이 중요하다고 판단될 경우에는 지진원의 발진기구특성과 국지적인 영향을 고려하여 시간이력을 생성하여야 한다.
- (3) 인공합성 지반운동의 지속시간은 지진의 규모와 발진기구특성의 전파경로 및 부지의 국지적인 조건이 미치는 영향을 고려하여 합리적으로 결정되어야 한다.

마. 모든 점에서 똑같이 가진하는 것이 합리적일 수 없는 특징을 갖는 선상구조물에 대하여는 지반운동의 공간적 변화모델을 사용할 수 있다.

7. 설계거동한계

송유관의 설계거동한계는 다음 사항을 고려하여 결정한다.

가. 기능수행수준

- (1) 송유관은 지진지반운동에 의하여 부분적으로 선형거동한계를 초과할 수 있으나, 전체적으로 탄성에 준하는 거동을 하여야 하고 정상적인 기능수행이 가능하여야 한다.
- (2) 지반의 영구변형은 송유관의 정상적인 기능수행에 지장을 주지 아니하는 범위안에서 허용된다.

나. 붕괴방지수준

- (1) 송유관은 지진지반운동에 의하여 소성영역안에서 거동하는 것은 허용되나, 기름이 누출될 수 있을 정도의 구조적 손상이 발생하여서는 아니된다.
- (2) 지반의 영구변형은 기름이 누출될 수 있을 정도의 손상을 유발시키지 아니하도록 허용한도를 초과하여서는 아니된다.
- (3) 송유관이 설치된 지반은 지진시 액상화, 단층작용, 사면 활동(滑動: 미끄러져 움직이는 것을 말한다. 이하 같다) 등이 발생하여서는 아니되며, 부득이한 경우 이들이 발생한 때에도 기름이 누출 되지 아니하도록 설치되어야 한다.

8. 내진설계방법 및 절차

가. 입력지반운동은 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 설계지반운동은 표준설계응답스펙트럼으로 나타낸다(그림 1 ~ 3 참조).
- (2) 표층지반의 층상구조, 동적 물성치 등을 고려하여 지반의 분산곡선과 지반진동의 겹보기 파장을 평가한다.

나. 지반조사는 다음 기준에 의한다.

- (1) 지진시 안정성 평가에 필요한 지반물성을 파악하기 위하여 송유관 부설노선을 따라 지반조사를 실시한다.
- (2) 지반조사는 기존자료의 수집 및 현지답사에 의하여 지반의 성질을 파악하는 기본조사와 현장실험 및 실내실험을 실시하여 지반의 성질을 세밀히 평가하는 상세조사로 나누어 실시한다. 다만, 상세조사의 실시여부는 배관시설의 중요도와 지반의 안정성을 고려하여 결정한다.
- (3) 지반조사는 표층지반의 층상구조, 지하수위, 각 지층의 역학적 특성, 탄성과 속도 등을 파악하여야 한다.
- (4) 송유관이 부설되는 노선상의 지반에 액상화 현상, 사면 활동 등이 발생할 우려가 있는 경우에는 지반 안정성에 대한 조사를 실시하여야 한다.

다. 입지조건은 다음 기준에 적합하여야 한다.

- (1) 활성단층의 인접지역이나 사면 활동 가능성이 있는 지역에는 송유관을 설치하여서는 아니된다.
- (2) 연약지반이나 액상화 잠재성이 현저한 곳은 피하고, 부득이한 경우에는 지반을 개량하여 지진에 대한 저항능력을 향상시켜야 한다.
- (3) 유지관리와 지진으로 손상된 부분의 수리 및 교체작업이 용이한 지역을 선정하여 송유관을 설치하여야 한다.

라. 내진설계시 지진발생으로 인한 피해가 없도록 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 지진파에 의하여 발생하는 지반진동에 대하여 내진성능 요구조건을 만족하도록 설계하여야 한다.
- (2) 지진으로 인한 사면붕괴, 액상화 등의 지반파괴에 의한 영구변형에 대하여 내진성능 요구조건을 만족하도록 설계하여야 한다.
- (3) 지진시 배관에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 내압, 자중, 상재 하중 등의 영향을 적절히 고려하여야 한다.
- (4) 지진시 지반진동에 의하여 배관에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 지진파의 종류, 지반진동의 크기, 입사각, 주기, 파장의 길이와 지반과 송유관 사이의 마찰특성 등을 적절히 고려하여야 한다.
- (5) 지진시에는 지형·지질의 급변부 및 이형관과 같은 관로의 구조 급변부에 대한 영향을 적절히 고려하여야 한다.
- (6) 지진시 지반의 영구변형에 의하여 배관에 전달되는 하중을 적절히 고려하여야 한다.

마. 내진설계시 배관의 재료 및 이음매는 다음 기준에 적합하여야 한다.

- (1) 배관 및 이음매는 송유압력과 설치장소, 지중매설 조건에 따라 충분한 기계적 강도와 변형성능을 갖는 재료를 선정하여야 한다.
- (2) 배관재료는 별표 2 제2호 나목의 기준에 적합하거나 동등 이상의 기계적 성질을 가지는 것을 사용하여야 한다.
- (3) 배관재료는 배관의 기준변형률을 만족하고 설계변형률 또는 사용변형률은 재료의 허용변형률보다 작아야 하며, 배관의 사용압력은 내압시험최소 압력보다 작아야 한다.
- (4) 배관에 사용하는 접합재료와 이음매는 법에 의하여 정하여진 규격에 적합하거나 동등 이상의 기계적 성질을 가져야 한다.
- (5) 이음매의 설계변위 또는 사용변위는 기준변위를 만족하고 허용변위보다 작아야 한다.
- (6) 지반의 하중, 송유압력 및 온도의 변화는 배관계에 강제변위 혹은 하중을 가하여 측정된 재료의 허용응력과 허용변형률에 의하여 배관 및 이음매를 설계하여야 한다.
- (7) 지반의 진동하중, 송유압력 및 온도의 변화는 배관계에 강제반복변위 또는 강제하중을 주게 되므로 배관 및 이음매의 설계에는 재료의 피로변형, 피로강도 및 수명을 고려하여야 한다.
- (8) 배관 이음매의 내진성능은 재료자체의 항복강도(내력), 연신율, 좌굴, 굽힘성능, 피로성능, 배관 및 이음매의 기하학적 형상과 치수(관의 외경, 평균지름, 두께, 곡관의 곡률반경, 이형관과 이음매의 형상) 및 하중형식에 의하여 결정된다.
- (9) 배관과 이음매의 부식 및 기계적 손상에 의한 기름 누출을 방지하기 위하여 지중매설 강관과 이음매는 그 표면을 피복하여야 하며, 전기방식장치가 설치되어야 한다.

바. 내진성능 평가항목은 다음과 같다

- (1) 지진파에 의하여 발생하는 지반진동
- (2) 지반의 영구변형
- (3) 배관에 발생한 응력과 변형

- (4) 기름누출방지기능
- (5) 연결부의 취성과괴 가능성
- (6) 배관과 지반사이의 미끄러짐을 고려한 상호작용
- (7) 사면 안전성
- (8) 액상화 잠재성

사. 내진성능기준 만족여부 평가방법은 다음과 같다.

- (1) 내진성능기준을 만족시키기 위하여는 설계모델이 제공하는 공급내진역량이 지진에 의하여 발생하는 소요내진역량을 충분한 안전여유를 가지고 초과하여야 한다.
- (2) 안전여유는 설계지진동에 의하여 배관에 발생하는 응력과 변위를 구하고 허용치와 비교하여 제공된다. 또한, 설계방법에 따라서 하중계수 및 강도감소계수가 도입된 지진재해도 해석과 신뢰도 해석에 기초하여 확률론적으로 안전여유가 결정될 수도 있다.
- (3) 공급내진역량과 소요내진역량의 평가시에는 시간과 사용에 따른 구조재료 특성의 변화가 고려되어야 한다.
- (4) 지진시 배관의 성능만족여부는 지진응답해석, 축소모형시험(Scale Model Test) 또는 원형시험(Prototype Test)의 방법에 의하여 평가할 수 있다.
- (5) 지진응답해석의 기본사항은 제9호의 규정에 의한다.

아. 배관은 다음 각호의 내진성능기준을 만족하도록 설계하여야 한다.

- (1) 배관의 전체가 연성거동을 보장할 수 있도록 설계함을 원칙으로 한다.
- (2) 연결부는 배관의 본체가 상당한 연성거동을 하더라도 그 강도와 강성 및 일체성을 상실하지 아니하도록 설계한다.
- (3) 배관이 매설되는 기초지반은 설계지진동하의 어떠한 경우에도 그 지지기능을 유지할 수 있도록 설계하고, 지반의 영구변형이 제한될 수 있도록 한다.

9. 지진응답해석 방법 및 절차

가. 지진응답해석시 공통으로 적용되는 사항은 다음과 같다.

- (1) 지반운동의 수평 2축방향 성분과 수직방향 성분을 고려하여야 한다.
- (2) 배관과 지반의 상호작용 해석시 배관의 유연성과 지반의 변형성을 고려하여야 한다.
- (3) 지반을 통한 지진파의 방사조건을 적절히 반영하여야 한다.
- (4) 내진설계에 필요한 지반정수들은 동적 하중조건에 적합한 값으로 선정하여야 하며, 특히 지반 변형계수와 감쇠비는 발생변형률 크기에 맞도록 선택하여야 한다.

나. 기능수행수준의 지진응답해석은 다음 방법에 의한다.

- (1) 배관의 거동은 선형으로 가정하고 지진응답은 선형해석법에 의하여 해석한다.
- (2) 표준설계응답스펙트럼 해석법, 모드 해석법, 주파수영역 해석법, 시간영역 해석법 등을 사용할 수 있다.
- (3) 상세한 수치모델링 또는 타당성이 입증된 단순해석법을 사용할 수 있다.

다. 붕괴방지수준의 지진응답해석은 다음 방법에 의한다.

- (1) 배관의 지진응답은 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법에 의하여 해석한다. 또한, 일반 구조물의 지진응답해석법을 준용할 수 있다.
- (2) 시간영역 해석법 또는 상세한 수치모델링이나 타당성이 입증된 단순해석법을 사용할 수 있다.

라. 단순해석법에 의한 지진응답해석방법은 다음과 같다.

- (1) 표면파에 의한 지반변형률은 분리길이가 증가할 때 감소하고, 관측방향의 마찰저항력은 분리길이에 따라 증가한다는 원리에 의하여 지반변형률이 지반-배관의 마찰변형률과 일치하는 분리길이를 결정하고 이로부터 배관의 변형률을 계산하여 허용변형률보다 작은지의 여부로 내진성능 만족 여부를 평가한다.

- (2) 배관의 허용변형률(ϵ_a)은 1% 또는 $30 \frac{t}{D} \%$ 중 작은 값으로 하고,

이음매 허용변형률은 1%로 한다.

주) t =배관의 두께(cm), D =배관의 직경(cm)

- (3) 지반변형률(ϵ_g)은 아래의 식으로 구한다.

$$\epsilon_g = \frac{V_m}{C}$$

주) V_m =지반의 최대 수평방향 입자속도, C =겉보기 전파속도

- (4) 겉보기 전파속도(C)는 진동수의 함수로서 아래의 식이나 레일리파(R 파)의 분산곡선(그림 4)으로부터 구한다.

$$C=0.875V_0 \quad \frac{Hf}{V_s} \leq 0.25$$

$$C=0.875V_0 - \frac{0.875V_0 - V_s}{0.25} \left(\frac{Hf}{V_s} - 0.25 \right) \quad 0.25 \leq \frac{Hf}{V_s} \leq 0.50$$

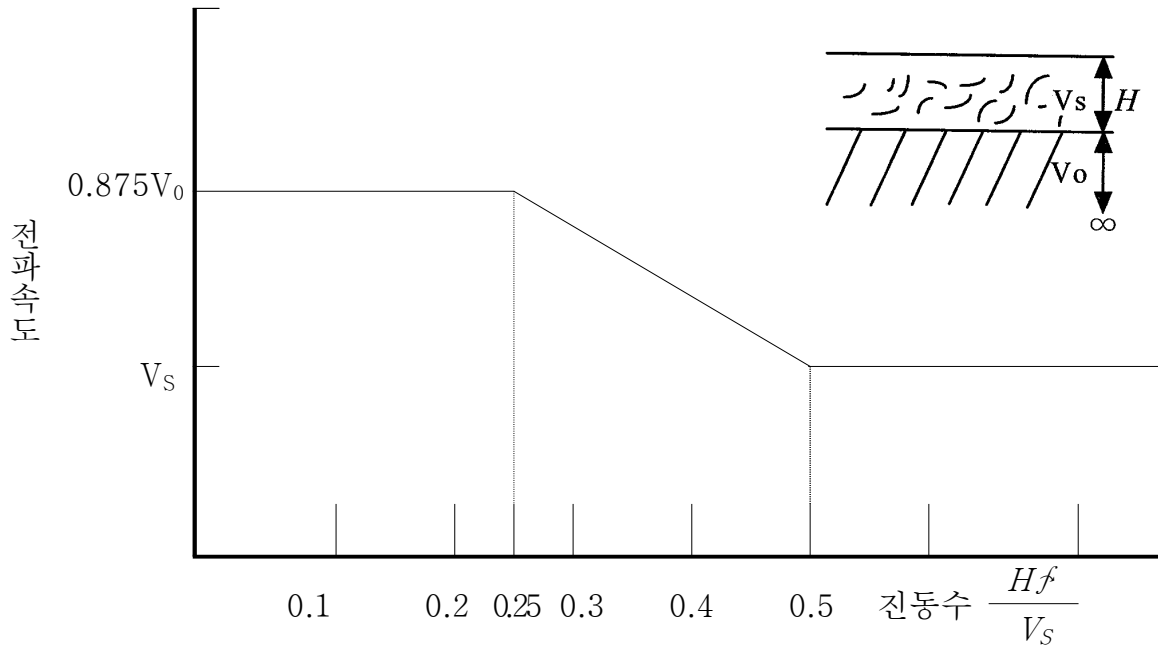
$$C=V_s \quad \frac{Hf}{V_s} \geq 0.50$$

주) V_0 = 지진기반면(암반층)의 전단파 속도(m/sec)

V_s = 표층지반의(평균)전단파속도(m/sec)

H = 표층지반의 깊이(m), f = 진동수(1/sec)

[그림 4 : 레일리파(R파)의 분산곡선]



※ 표층(H)이 하나 이상의 층으로 구성되어 있는 경우 V_s 는 각층 전단파 속도의 평균값으로 한다.

(5) 레일리파(R파)의 겹보기 파장(λ), 분리길이(L), 진동주기(T)는 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{C}{f}, \quad L = \frac{\lambda}{4}, \quad T = \frac{1}{f}$$

주) λ =레일리파(R파)의 겹보기 파장(m)

C =레일리파(R파)의 겹보기 전파속도(m/sec)

f =진동수(1/sec)

(6) 최대 지반 입자속도(V_m)는 표준설계응답스펙트럼으로부터 구한다.

$$V_m = I \cdot S_V(T, \xi)$$

주) V_m =최대입자속도(m/sec), I =위험도 계수, ξ =감쇠비

S_V =속도 스펙트럼 값(m/sec), T =주기(sec)

(7) 지반-배관 마찰변형률(ϵ_f)은 아래의 식으로 구한다.

$$\epsilon_f = \frac{f_m L}{EA}$$

주) f_m =지반-배관 계면의 단위 길이당 마찰 저항력(N/m)

L =분리 길이(m)

E =배관 재료의 탄성계수(N/m²)

A =배관의 단면적(cm²)

(8) 마찰 저항력(f_m)은 아래의 식으로 구한다.

$$f_m = \mu \gamma z \frac{1+k_s}{2} \pi D$$

주) μ =지반 배관 연계면에서의 마찰계수, γ =지반의 단위 중량(N/m³)

z =매설 깊이(m), k_s =정지토압계수(0.5~1.5), D =배관의 외경(m)

(9) 지반-배관 마찰계수(μ)와 정지토압계수(k_s)는 아래의 표로 구한다.

조 건	마찰계수(μ)	정지토압계수(k_s)
느슨한 모래 다짐 (Loose sand backfill)	0.5	0.5
중간밀도의 모래 다짐 (Moderately dense sand backfill)	0.6	1.0
조밀한 모래 다짐 (Dense sand backfill)	0.7	1.5

※ 1. 배관 주위에 채워 넣는 모래의 다짐정도에 의한 마찰계수가 위와 같으며, 일반적으로 $\mu=0.6$ 을 사용하며, 모래가 아닌 경우는 0.7~0.8을 사용한다.

2. 배관 주위의 토양의 종류에 의한 정지토압계수가 위와 같으며, 일반적으로 $k_s=1.0$ 을 사용한다.

(10) (3) 내지 (7)의 식으로부터 지반변형과 마찰변형률을 분리길이 L 의 함수로 표현할 수 있으므로 지반변형률과 마찰변형률이 같을 때, 즉 $\epsilon_f = \epsilon_g$ 가 될 때의 분리길이가 배관의 변형을 지배하는 분리길이 L^* 이 되며, 그 때의 변형률이 배관의 설계변형률이 된다.

$$\text{즉 } \epsilon_p = \epsilon_g(L^*) = \epsilon_f(L^*)$$

(11) 이음매의 변형률은 직관의 변형률 값의 2배로 한다.

$$(\overline{\epsilon_p} = 2.0 \epsilon_p).$$

ϵ_p =이음매의변형률, ϵ_p =직관의 변형률

(12) L형관과 T형관 등의 이형배관의 허용변형률은 1%로 하고, 배관변형률은 아래의 식으로 계산한 후 허용변형률과 비교하여 내진성을 평가한다.

$$\epsilon_p = \frac{f_m L}{2AE}$$

주) f_m =배관의 단위길이당 마찰력, L =배관의 유효미끄러짐 길이

A =관의 단면적, E =관의 탄성계수

※ 유효미끄러짐 길이 L 은 아래의 식으로 계산한다.

$$L \text{형관} : L' = \frac{4}{3} \Omega \left(\sqrt{1 + \frac{3\varepsilon_g AE}{2f_m \Omega}} - 1 \right)$$

$$T \text{형관} : L' = \frac{1}{2} \Omega \left(\sqrt{1 + \frac{4\varepsilon_g AE}{2f_m \Omega}} - 1 \right)$$

$$\text{주) } \varepsilon_g = \text{지반변형률} \left(= \frac{V_m}{C} \right), \Omega = AE \frac{\beta}{k}, f_m = \mu r z \frac{1 + k_s}{2} \pi D,$$

$$k = k_0 D, \beta = 4 \sqrt{\frac{k}{4EI}}$$

k_0 : 지반반력계수(일반적으로 5.9 N/cm^3), I : 배관단면의 관성모멘트