

지하 철근콘크리트 구조물의 내진설계에 관한 연구

The Study of Seismic Design for Underground RC Structure

조 병 완 ' 문 병 옥" 태 기 호"" 안 제 상""

Jo, Byung Wan Moon Byung Ok Tae, Ghi Ho Ann Jea Sang

ABSTRACT

The seismic design from the underground structures with the ground structures differently relative acceleration of ground and structure for, that period ci it was a condition where the recognition against the seismic design of the underground structure is insufficient because the decease damage does not very to that extent. Analysis result, earthquake hour section power increase one that price smiles from one part and when it applies a regular design hour safety rate 20%, seismic efficiency level satisfaction is it becomes feed with the fact that it will be able to augment the efficient characteristic of design.

1. 서론

1960년 이후로 외국의 대표적인 지진피해는 1985년의 멕시코 지진, 1995년의 현고현 남부지진, 1999년 대만지진등 대지진이 세계도처에서 발생하여 현대도시의 구조물과 각종 시설물에 큰 피해를 초래하고 있다. 특히 최근, 1995년 1월 거시적으로 가까운 일본 남부 효고현에서 발생한 일명 고베지진 및 1999년에 발생한 대만지진은 유라시아 판의 극동부에 인접하여 위치하고 있어서 지진발생 특성을 대표하는 지진지체구조 특성을 고려할 때 한반도와 전혀 무관할 수 없는 상황이기 때문에 우리나라에 큰 영향을 미치고 있으며, 지진에 대한 대책을 국가적으로 시작하게 하는 계기를 만들어 주었다.

우리나라 내진 설계기준은 1985년 멕시코 지진의 영향을 받아 1988년 건설교통부 주관으로 미국의 ATC 3-06 기준과 ICBO에서 만든 UBC를 기초로 제정되어 1990년대 초반부터 토목 구조물에 내진설

* 정희원, 한양대학교 도시환경건설공학군, 토목공학과 교수

** 정희원, 세종시빌테크놀러지 이사, 구조기술사

*** 정희원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

**** 한양대학교 토목공학과 석사과정

계를 적용하도록 도로교 표준 시방서 및 고속철도 설계기준 등에 규정하고 있다. 이러한 규정에 의하여 교량, 건축 구조물등 지상의 구조물에 대해서는 시방규정에 따라 내진설계를 하고 있으나 지하철과 같은 지중구조물에 대해서는 내진설계 적용에 있어서 지중 지반운동과 구조물간의 상호작용에 대한 정확한 해석 등 기술적인 많은 난제들과 지표상의 지진력인 지반가속도 크기를 지중 심도가 깊어짐에 따라 그 값이 현격히 감소하여 지중구조물의 피해영향이 비교적 적어지는 등 내진 설계관련 시방규정 및 설계방법이 확립되어 있지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 지중 구조물의 지진에 대한 안전성을 확보하기 위하여 실무에 적합하고 효율적인 내진설계 방법 및 내진성능 향상을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 하는데 그 목적이 있다.

2. 응답해석법에 의한 내진해석

2.1 해석 절차

응답해석법에 의한 설계절차를 명시하기 위하여 다음과 같이 정리하여 항목별로 나타내었다.

- 1) 기반암에 대한 설계응답 스펙트럼(Convolution Process)
- 2) 인공지진가속도시간이력산출
- 3) 기반암의 인공지진파에 의한 심도별 변위해석
- 4) 지반반력계수산정
- 5) 지진하중산정

2.2 하중조합

본 연구에서는 고정하중과 지진하중의 재하효과가 상쇄되는 경우가 아니므로 고정하중(D), 활하중(L), 그리고 지진하중(E)이 작용하는 경우 미국 ACI-349 (American Concrete Institute, 원자력 콘크리트 구조물 설계기준)을 준용하여 건설교통부 발행의 "콘크리트 구조설계기준"을 따라 다음의 하중조합을 적용하였다.

$$U = 0.75 \times (1.54D + 1.7L + 1.8E) \text{ (기능수행수준검토시 적용)}$$

$$U = 0.75 \times (1.00D + 1.0L + 1.0E) \text{ (붕괴방지수준검토시 적용)}$$

3. 지중구조물에 대한 해석검토

지중구조물 2층, 3층, 4층에 상시 및 지진시 응답변위법을 적용하여 기능수행수준, 붕괴방지수준에 대하여 검토하고, 4층 구조물에 대하여는 다음과 같은 해석 변수를 설정하여 수행하였다.

CASE 1 : 층별 기둥 및 벽체 단면 변화 (그림2)

CASE 2 : 기둥 동일단면 및 벽체 단면 변화 (그림 3)

CASE 3 : 기둥 및 벽체 동일단면 (그림 4)

CASE 4 : 기둥 단면변화 및 벽체 동일단면 (그림 5)

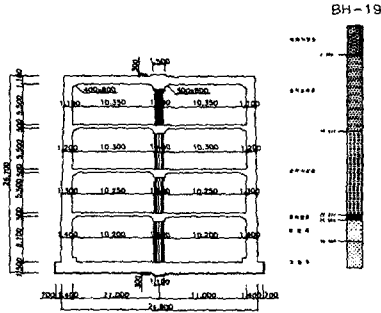


그림4 기둥 및 벽체 단면변화 구조물(CASE 1)

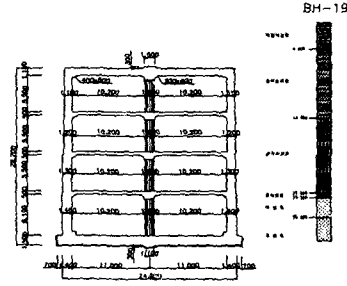


그림 5 기둥 동일단면 및 벽체 단면변화 구조물(CASE 2)

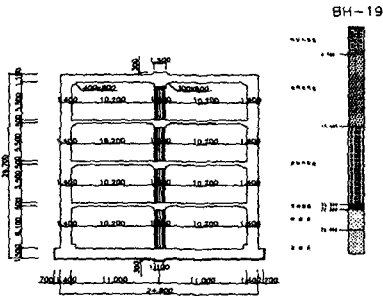


그림 6 기둥 및 벽체 동일단면 구조물(CASE 3)

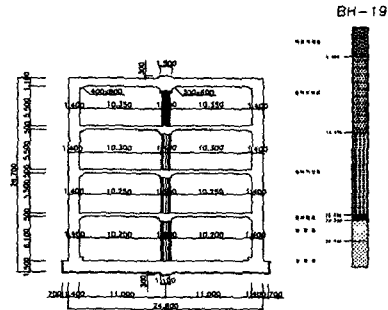


그림 7 기둥 단면변화 및 벽체 동일단면 구조물(CASE 4)

인공지진파의 작성은 응답스펙트럼에 부합하는 지진파를 무작위 진동론에 의해 작성하였으며 진원과 전달경로 및 부지 특성을 종합적으로 고려하여 추계학적으로 작성하였다. 작성된 응답스펙트럼은 기능수행수준과 붕괴방지 수준으로 나누어 다음 그림 5,6에 나타내었다.

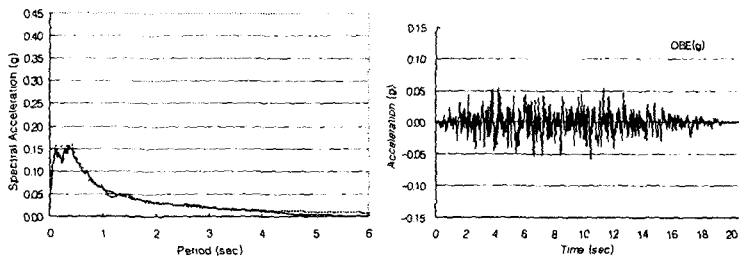


그림5. 기능수행수준

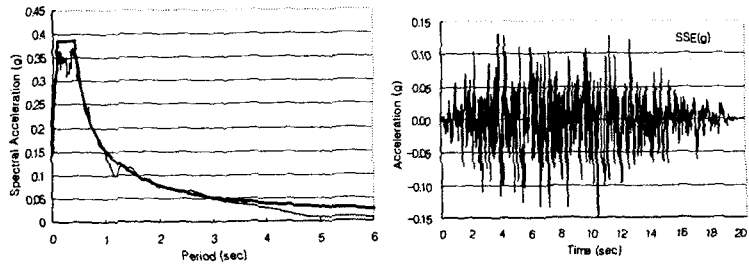


그림6. 붕괴방지수준

표 1 자유장 지진응답해석결과(기능수행수준)

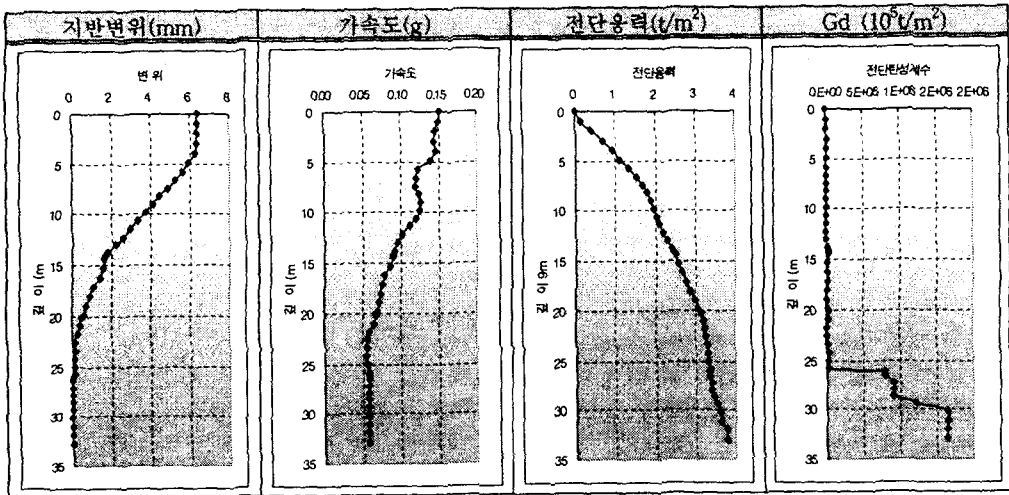
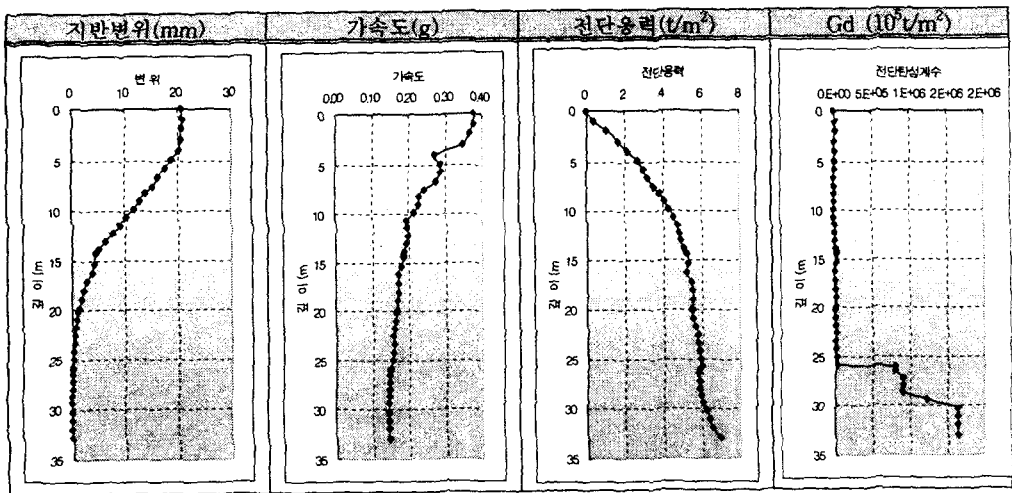


표 2 자유장 지진응답해석 결과(붕괴방지수준)



위의 지진응답해석결과 붕괴방지 수준과 기능수행수준의 결과로부터 다음 표3,4와 같이 지반물성치를 산출하여 지반반력계수를 산정 하였다.

표 3 기능수행수준 지반반력계수

위 치	압축스프링계수(tonf/m ³)	전단스프링계수(tonf/m ³)
상부슬래브	$K_V = (\sum K_{V_i} \times L_i) / \sum L_i = 254 \text{ tonf/m}^3$	$K_{V,S} = (\sum K_{V,S_i} \times L_i) / \sum L_i = 415 \text{ tonf/m}^3$
측 벽	$K_H = (\sum K_{H_i} \times L_i) / \sum L_i$	$K_{H,S} = (\sum K_{H,S_i} \times L_i) / \sum L_i$
	층적모래층 = 1486 tonf/m ³	층적모래층 = 1395 tonf/m ³
	층적자갈층 = 4447 tonf/m ³	층적자갈층 = 4260 tonf/m ³
	풍화암층 = 42230 tonf/m ³	풍화암층 = 39040 tonf/m ³
	연 압 층 = 58714 tonf/m ³	연 압 층 = 47207 tonf/m ³
경 압 층 = 98467 tonf/m ³	경 압 층 = 64732 tonf/m ³	
하부슬래브	$K_B = (\sum K_{B_i} \times L_i) / \sum L_i = 155675 \text{ tonf/m}^3$	$K_{B,S} = (\sum K_{B,S_i} \times L_i) / \sum L_i = 121809 \text{ tonf/m}^3$

표 4 붕괴방지 수준 지반반력계수

위 치	압축스프링계수(tonf/m ³)	전단스프링계수(tonf/m ³)
상부슬래브	$K_V = (\sum K_{V_i} \times L_i) / \sum L_i = 184 \text{ tonf/m}^3$	$K_{V,S} = (\sum K_{V,S_i} \times L_i) / \sum L_i = 299 \text{ tonf/m}^3$
측 벽	$K_H = (\sum K_{H_i} \times L_i) / \sum L_i$	$K_{H,S} = (\sum K_{H,S_i} \times L_i) / \sum L_i$
	층적모래층 = 1081 tonf/m ³	층적모래층 = 1017 tonf/m ³
	층적자갈층 = 3452 tonf/m ³	층적자갈층 = 3318 tonf/m ³
	풍화암층 = 41771 tonf/m ³	풍화암층 = 38692 tonf/m ³
	연 압 층 = 58303 tonf/m ³	연 압 층 = 46894 tonf/m ³
경 압 층 = 98106 tonf/m ³	경 압 층 = 64454 tonf/m ³	
하부슬래브	$K_B = (\sum K_{B_i} \times L_i) / \sum L_i = 155588 \text{ tonf/m}^3$	$K_{B,S} = (\sum K_{B,S_i} \times L_i) / \sum L_i = 121767 \text{ tonf/m}^3$

4. 결 론

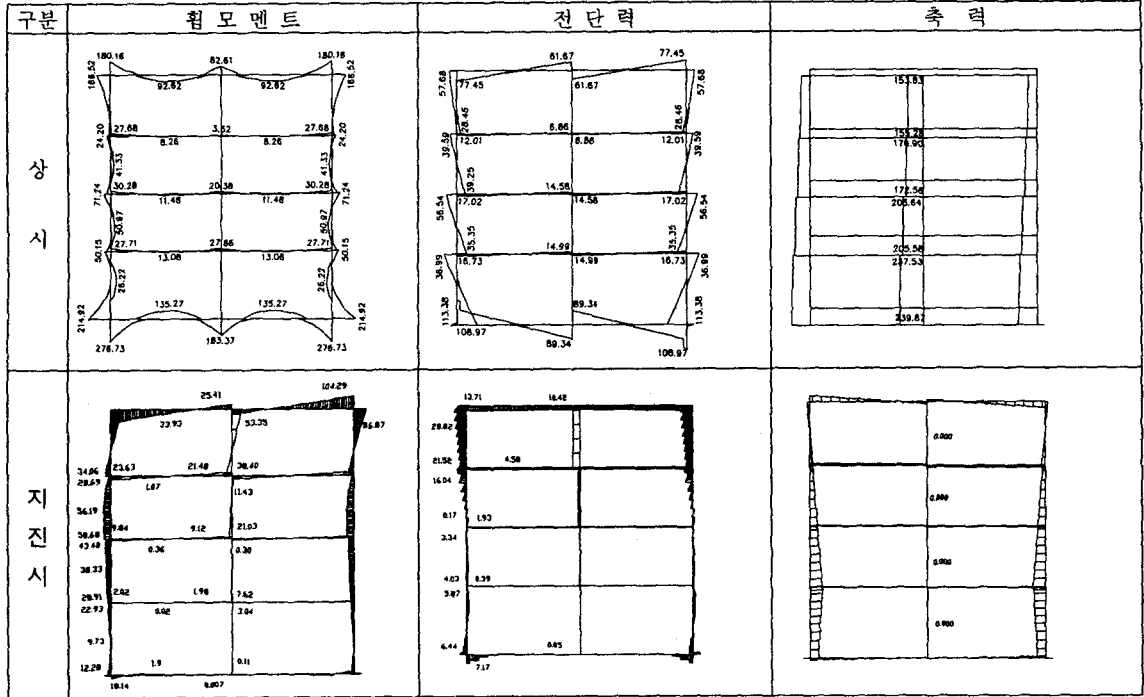
지중구조물의 내진설계에 관하여 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 지중구조물의 내공을 포함한 단위체적중량이 일반적으로 주변지반의 단위체적중량에 비교하여 가볍거나 같은 정도이나 또 주위가 지반으로 둘러쌓여 있으므로 감쇄가 크고 자체진동이 끈진정되므로 지중구조물에 생기는 응력은 관성력에 의한 영향보다 지진동에 의한 주변지반의 변위와 변형등이 중요인자이므로 지중구조물의 내진설계법으로 응답변위법이 가장 타당하다고 판단된다.

(2) 지중 4층구조물의 해석변수에 따른 해석결과 벽체와 기둥강성에 다소차이는 있으나 지진에 가장 취약한 부분은 상부층 기둥부이며 이는 지진에 의한 수평력에 의하여 축력은 줄어드나 휨모멘트는 크게 상승함을 알 수 있어 기둥전단파괴와 휨인장파괴에 대한 보강대책 및 내진성능향상 대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

(3) 지진시 단면력이 일부분에서 증가하나 그 값이 미소하여 상시설계시 안전여유율 20%을 적용하면 내진성능수준을 만족하므로 설계의 효율성을 증대할 수 있을 것으로 사료된다.

표 5 기능수준에 의한 해석결과(단면력도)



참 고 문 헌

1. トンネル標準示方書, 일본토목학회, 1994.
2. 地下構造物の耐震設計, 鹿島出版社, 1994.
3. 구조물의 내진설계 기법, 한국전산구조공학회, 1992. 2.
4. 김우, 이성도, 임동원, 정제평, "지중RC 도시철도 구조물의 내진설계," 한국콘크리트학회, 1995. 6.
5. 이상덕, 최수일, 구자갑, "안정된 지하구조물의 설계와 시공," 새론, 1994.
6. 건설교통부, "내진설계기준연구 II," 1997. 12.
7. 진동 및 내진설계, 한국지반공학회, 1997.
8. 대지진 재해조사 긴급 보고회 자료, 일본토목학회, 1995.
9. 지하철 9호선 구조물 내진설계(안), 서울특별시지하철건설본부, 1998. 8.
10. 토목구조물 내진설계 지침, 대한주택공사, 1999. 2.
11. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, 1994.