

지하 철근 콘크리트 박스 구조물의 내진해석방법
및 철근 배근 상세에 관한 연구

**The Study of detailing for concrete reinforcement and Seismic
Analysis Method for Underground Reinforced Concrete Box
Structures**

이명수*
Lee, Myoung Soo*

한상철**
Han, Sang Chel**

ABSTRACT

The object of this thesis is an study on detailing for concrete reinforcement and analytical study for seismic behavior of underground reinforced concrete box structures using the established seismic analytical method. Using the established seismic analytical method that has been presented in various documents seismic behavior of buried reinforce concrete box structures is compared. From the comparsion, it is shown that feasibility and detailing detailing for concrete reinforcement and seismic method for seismic analysis of buried reinforced concrete box structures.

1. 서 론

국내설계기준에 내진기준이 법규화 되어 내진설계를 요망하고 있으며 내진문제에 대한 검토를 하여 일반적으로 지진시 지반의 액상화, 기초지반의 지지력, 지진시의 구조물에 발생하는 부재력에 대하여 단면을 검토하여야 한다고 되어 있다. 그러므로 본 연구에서는 기존에 정립된 내진해석방법인 등가정적해석법, 응답변위법, 동적해석법 (시간이력해석법, 응답스펙트럼 해석법)등을 토대로 하여 내진성능수준인 기능수행수준, 붕괴방지수준의 내진성능 목표인 100년, 1000년을 고려하여 내진성능목표를 달성하고 보다 정확한 방법을 채택하기 위하여 지진해석의 3가지 방법으로 해석하여 비교 검토 한다. 이에 따른 지하 박스 구조물 지진 거동을 파악하여 실질적 거동과 유사하고 사용자가 편리한 방법과 내진설계에 부합 하고 합리적으로 대처할 수 있는 콘크리트구조설계기준에 제시된 철근배근방법을 고찰하고자 한다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정, 정회원

** 서울산업대학교 철도전문대학원 교수, 정회원

2. 연구 동향

최근 1960년 이후의 크고 작은 지진피해가 많이 발생되고 이에 따르는 대표적인 지진피해는 1985년 멕시코 지진, 1995년의 현고현 남부 지진, 1999년의 대만지진등 세계도처에서 현대도시의 구조물과 각종 사회기반 시설물에 큰 피해가 초래되고 있다. 그래서 우리나라에서는 홍성지진이후 국내의 지진위험도를 인지하게 되어 1988년에 미국의 ATC3-06과 UBC의 내진설계방법을 기초로 한 내진설계지침과 1992년의 도로교 표준 시방서에 내진설계규정이 처음으로 도입 된 후로 거의 10년이 흘러서 1997년 10월에 지진에 대한 자연재해대책법이 처음으로 제정 되었고 건설교통부 주관으로 사회 기반 시설물인 댐,터널,공항,항만,지하철 등에 이르는 모든 시설물에 대한 내진설계규준을 체계화 하였다. 외국의 경우는 거의 3년마다 내진설계규준이 제정되고 있고 특히 1994년 미국 노스리지 지진과 1995년 일본의 고베 지진을 기점으로 하여 대대적인 내진설계법의 발전과 규준개정작업이 활발히 진행되었다. 특히 우리나라의 내진 설계 규준에서의 지하 콘크리트 구조물에 대한 해석방법은 우리의 현 기술의 수준과 지진의 위험성 또한 국민경제에 미치는 영향들을 고려하여 현재로서는 유사정적(등가정적)해석법을 근간으로 하고 있으나 설계자의 판단에 따라 응답변위법 및 동적 해석법(응답 스펙트럼 해석법)을 적용하고 있는 실정이다.

3. 연구 내용 및 범위

본 연구에서는 지하 철근콘크리트 박스 구조물에서의 현재 적용하는 내진해석방법을 비교 검토한다. 또한 이에 따르는 사용자가 편리하게 이용할 수 있는 해석방법에 대하여 분석하고 이에 대응하는 콘크리트 구조설계기준의 내진 상태 철근상세, 3차원 해석 및 우각부 상세해석을 통하여 철근 상세를 고찰하는데 있고 대상 구조물은 다음과 같다.

- 1) 일반 본선 구조물
- 2) 일반 정거장 2층 3주식 정거장 구조물(제1, 2, 3, 4정거장)

4. 현 지중 구조물의 내진해석방법

4.1 유사정적해석법

(1) 기본 개념 및 해석절차

지중구조물의 지진에 따른 지반의 진동하중에 대하여 정역학적인 횡토압으로 산정하여 지진하중을 심도에 따라 보정하여 구조물의 측벽에 작용시켜서 구조해석을 하는 방법

(횡토압은 Mononobe-okkabe 토압사용)

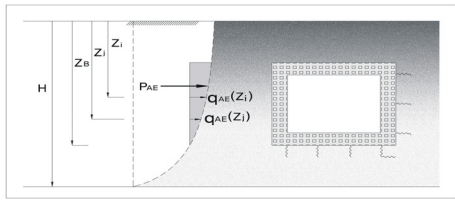


그림 1. 유사정적 개념도

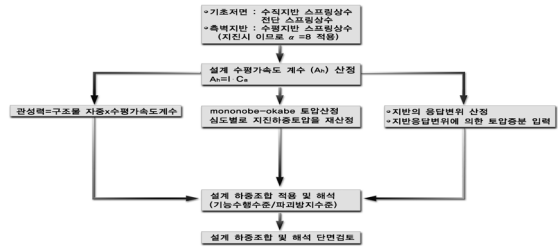


그림 2. 유사정적 해석 절차

4.2 응답변위법

(1) 기본 개념 및 해석 절차

구조물과 지반을 각각 뼈대구조와 스프링 요소로 모델링한 후, 지진 시 자유장 변위에 대한 토압과 지반 변위가 구조물에 미치는 주변 마찰력 그리고 관성력을 작용시켜 구조물의 거동을 파악하는 방법이다.

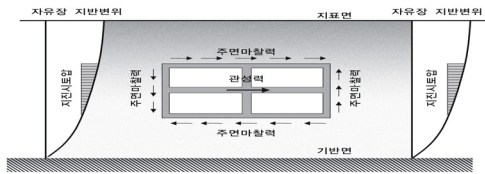


그림 3. 응답변위법 개념도

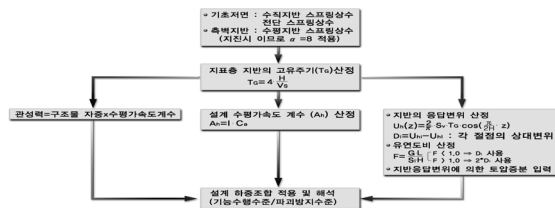


그림 4. 응답변위 해석 절차

4.3 동적 해석법

(1) 기본 개념 및 해석 절차

모델링의 Mesh 유효폭(Be)과 심도깊이(He)에 대한 결정을 하기 위한 선행모델링을 수행한 후 허용범위 오차내에 수렴할 때 Be와 He를 결정하여야 한다. 구조물과 지반의 경계조건과 사용요소(element)의 선택은 상대거동을 탄성상태와 소성상태로 구분할 수 있는데, 압축력만 받고 인장력을 받지 못하는 지반의 특성을 고려할 수 있는 비선형요소(Gap Element)를 적용할 수 있고, 지반System으로 Kelvin 모델과 Maxwell 모델을 사용하여 응답스펙트럼을 작용하여 해석하는 방법이다.

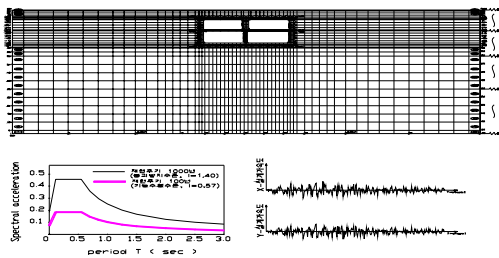


그림 5. 동적해석 개념도

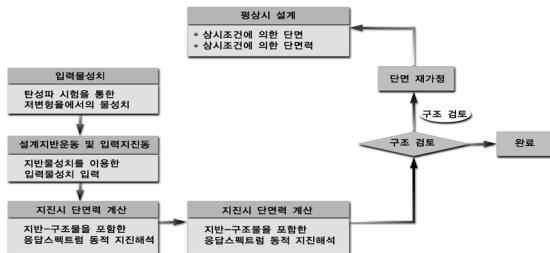


그림 6. 동적 해석 절차

5. 지하 구조물 3차원 해석 및 우각부 상세 해석

5.1 지하 구조물 3차원 해석

(1) 해석개요

정거장 전체 모델링을 하여 기둥 및 거더는 뼈대요소를 사용하고 슬래브와 벽체는 판요소를 사용하였으며, 바닥판은 절점을 Spring으로 모델링하여 지반의 효과를 근사적으로 고려하였다.

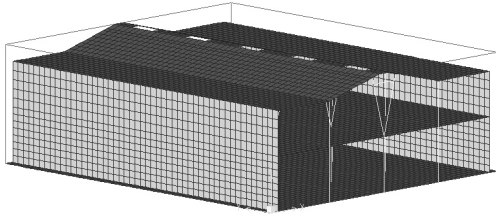


그림 7. 전체 모델링

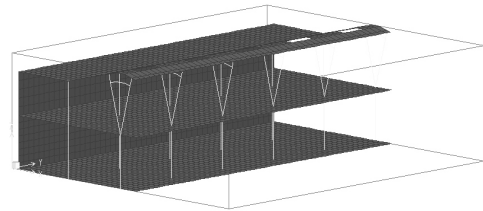


그림 8. 1/2 모델링

(2) 해석 결과

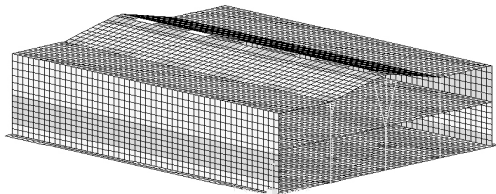


그림 9. 휨모멘트도

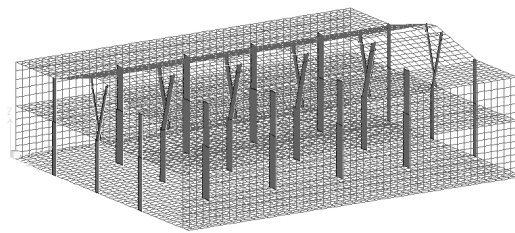


그림 10. 축방향력도

5.2 지하 구조물 우각부 상세 해석

5.2.1 해석개요

우각부의 복잡한 힘의 흐름을 보다 정확하게 파악하기 위해서 2차원 평면 유한요소 해석을 통하여 주응력 흐름을 정확히 파악하고 이를 근거로하여 스트럿-타이모델, SOLID ELEMENT를 사용하여 모델링하여 F.E.M 해석을 수행한다. 이를 현행의 설계기준(콘크리트구조설계기준(2003))의 결과와 비교·검토함으로써 안전성 하는데 확보하고자 한다.

5.2.2 스트럿-타이 모델 해석

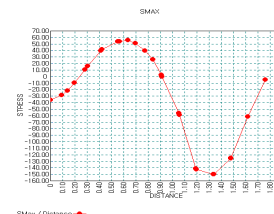
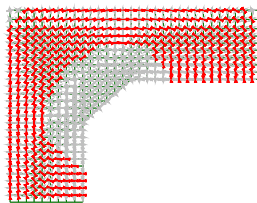
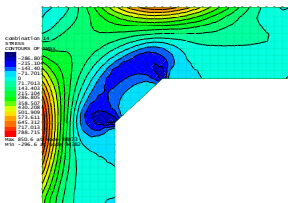


그림 11. 상부 주인장응력도 그림 12. 상부 주인장 벡터 그림 13. 상부 주인장력도 위치

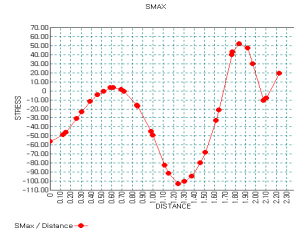
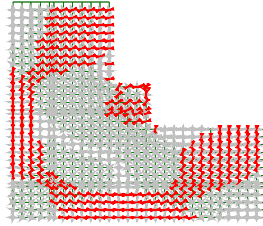
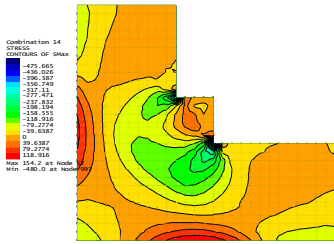


그림 14. 하부 주인장응력도 그림 15. 하부 주인장 벡터 그림 16. 하부 주인장력도 위치

5.2.3 SOLID ELEMENT 유한요소 해석 및 결과

- (1) 경계조건 : 우각부 내측 헌치부의 절점을 3방향 구속함.
 => 모멘트에 의한 구조물 거동의 구속을 최소화
 => 구조물의 외적안정성 확보
- (2) 작용하중 : 사용하중에 의한 단모멘트를 모델의 양단에서 각각 인장과 압축응력으로 환산하여 재하

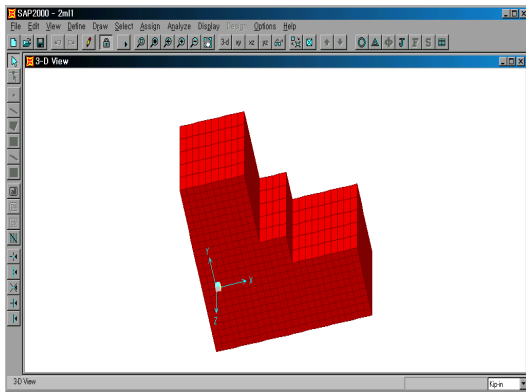


그림 17. 상부 우각부 해석 모델링

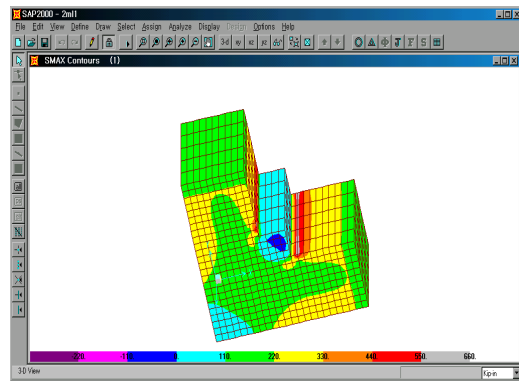


그림 18. 상부 우각부 요소 해석 결과

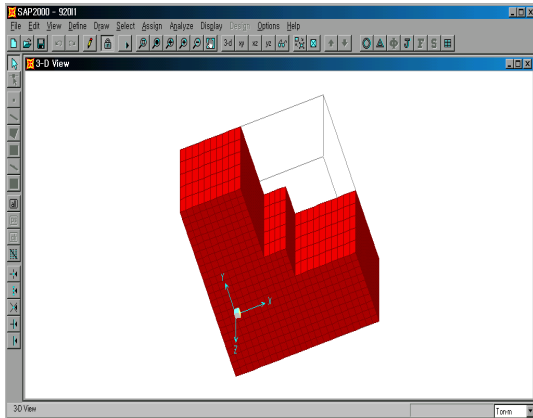


그림 19. 하부 우각부 해석 모델링

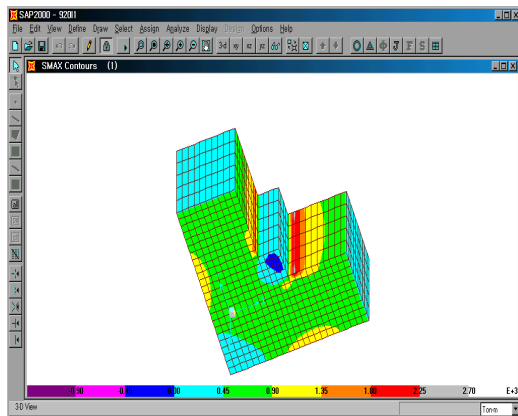


그림 20. 하부 우각부 요소 해석 결과

5.3 지하 구조물 내진해석 결과

5.3.1 본선구조물

(1) 각 해석방법별 결과

표 1 기능수행수준에 따른 해석방법별 결과

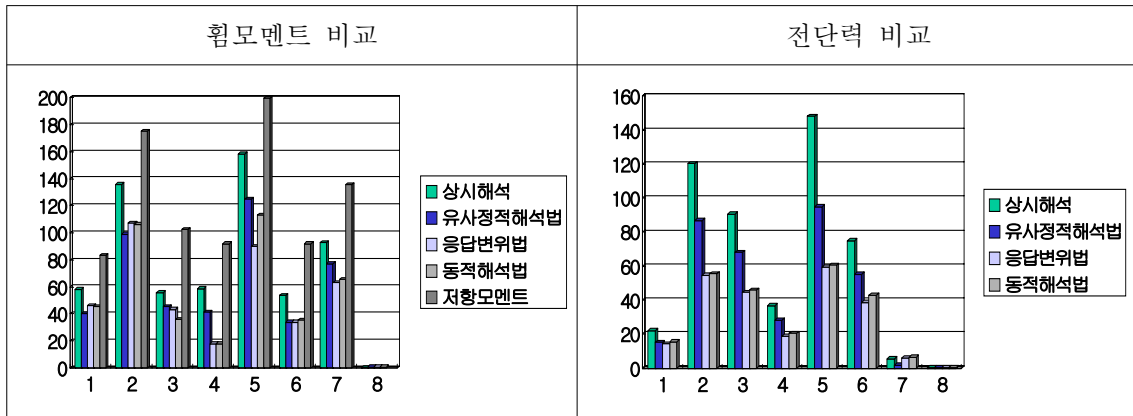
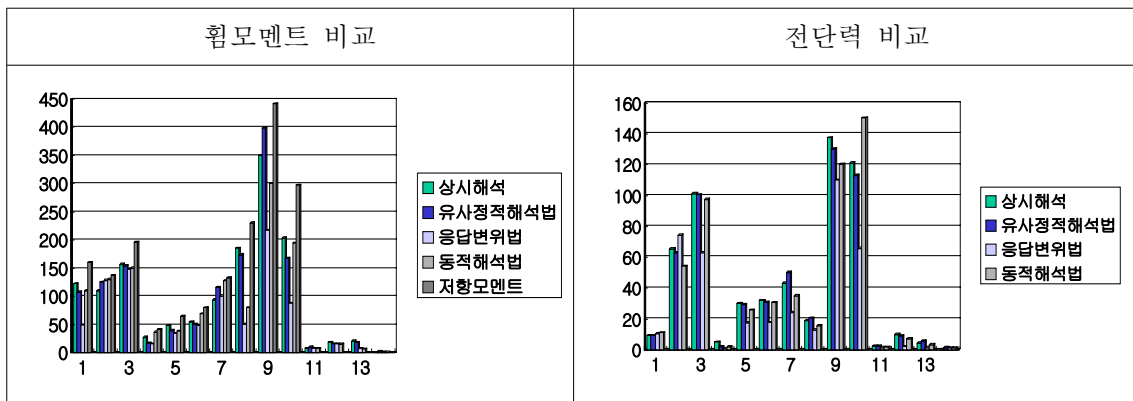


표 2 붕괴방지수준에 따른 해석방법별 결과



(2) 구조물-지반과의 거동 형상

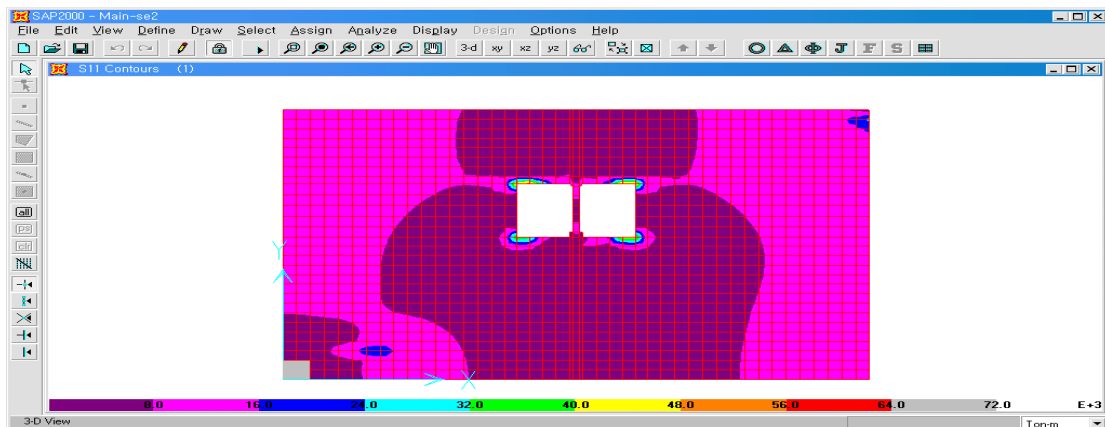


그림 21. 본선 구조물과 지반의 상호 거동 형상

5.3.2 정거장 구조물

(1) 각 해석방법별 결과

표 3 기능수행수준에 따른 해석방법별 결과

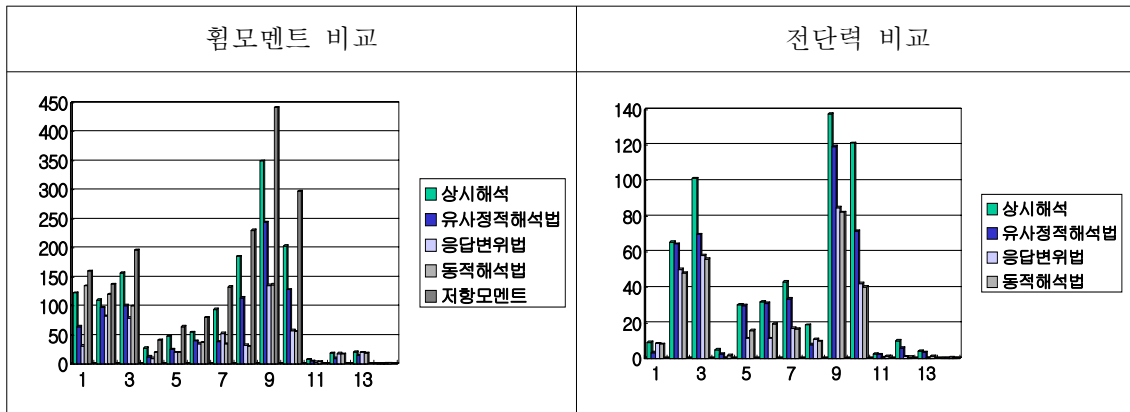
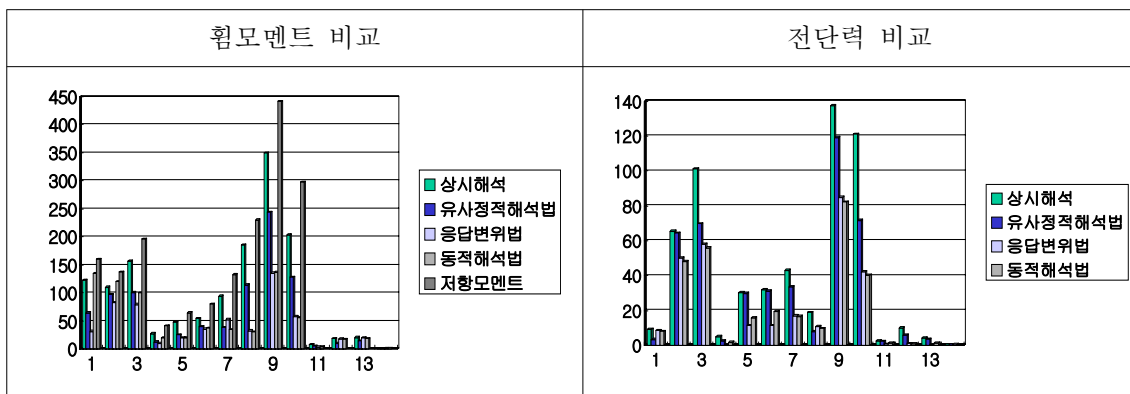


표 4 붕괴방지수준에 따른 해석방법별 결과



(2) 구조물-지반과의 거동 형상

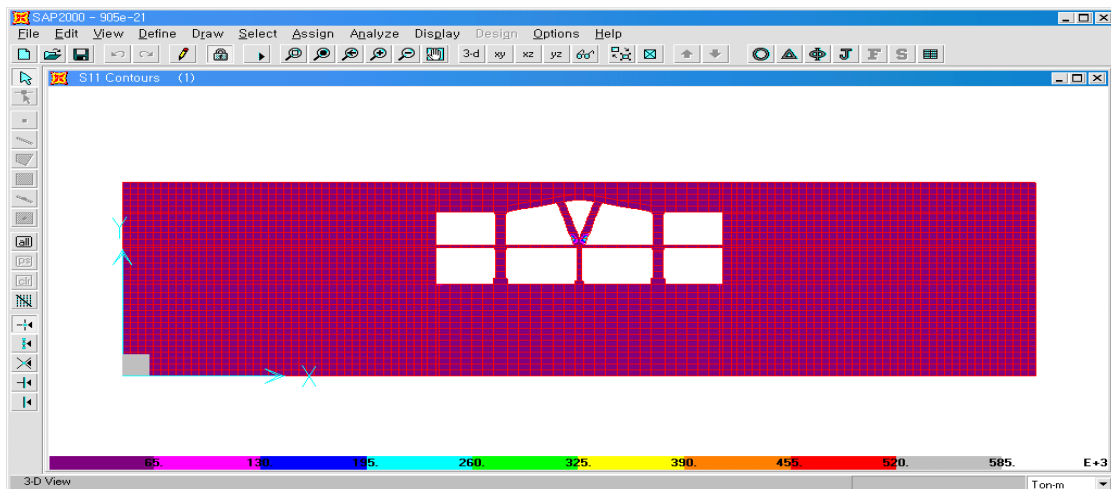
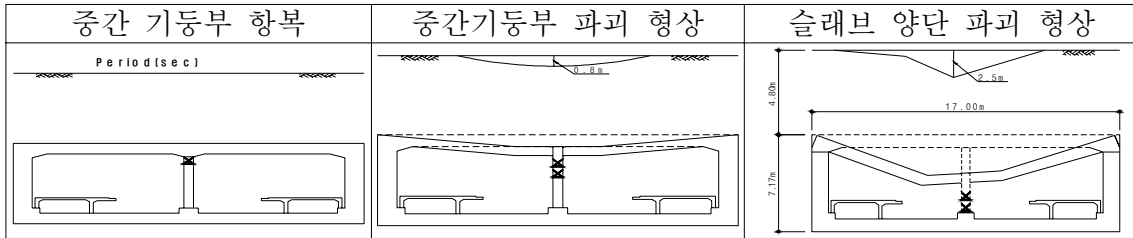


그림 21. 정거장 구조물과 지반의 상호 거동 형상

6. 최근 지진피해 사례

그림 25. 파괴 과정 및 파괴 형상



7. 결 론

- 1) 유사정적해석법, 응답변위법, 동적해석법의 3가지방법으로 검토한 결과 대체로 유사정적 해석법에서 가장 단면력이 큰 것으로 나타나고 있다.
- 2) 본선 및 정거장 단면에 지진하중을 작용할 경우, 지진시 보다는 주로 상시에 지배되나 정거장 중간기둥과 슬래브의 접합부에 예기치 않은 단면력이 가장 크게 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위해서 기둥의 횡 방향 구속철근과 기둥과 슬래브 접합부에 철근으로 보강이 필요한 것으로 나타나고 있다.
- 3) 본선과 정거장 구조물의 일반부재(슬래브 및 벽체)에 발생하는 응력은 허용응력 이하로 발생하지만 국부적인 집중응력이 과대하게 나타나는 기둥 접합부와 우각부에 대해서 우각부 보강철근과 헌치에 연하는 철근의 배치가 필요하다고 판단된다.
- 4) 본선에 대한 우각부 배근은 인장응력은 $0.4R \sim 0.65R$ 사이에 최대응력들이 집중되어있고 이에 대한 철근 배근상세는 콘크리트 구조설계기준에 준하여 배근하면 충분한 안정성을 확보할 수 있을 것이라고 판단된다. 그러나 지하 구조물에서의 무한한 지반속에 폐공된 단면에서의 내측인장은 현 철근상세에서는 불필요한 배근으로 판단된다.
- 5) 실제 발생된 구조물 거동과 지반-본선 및 정거장 구조물 거동형상이 비슷한 양상을 보이고 있으므로 동적해석법이 실질적인 거동을 보이고 있으나 사용자가 편리한 응답 변위법이 해석치 오차나 이용자 측면에서 더 유리할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 콘크리트 구조설계기준 (건설교통부, 2003년)
2. 진동 및 내진설계 (한국 지반 공학회, 1997년)
3. Underground Structures Design and Instrumentation(ELSEVIER 1989)
4. American Association of State Highway and Transportation Officials(1994). "AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS", AASHTO.
5. BSI(1996), "Design Provisions for earthquake resistance of structures(Eurocode 8)", BSi.
6. ACI 315-95, "DETAILINGS AND DETAILING OF CONCRETE REINFORCEMENT", ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE(1996).