creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2024년 2월

박사학위논문

가시설 구조물 중간말뚝이 지하구조물 슬래브 저판에 미치는 영향에 관한 연구

조 선 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

김 두 산

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

가시설 구조물 중간말뚝이 지하구조물 슬래브 저판에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of Center Piles of Temporary Structures on the Slab Base Plate of Underground Structures

2024년 2월 23일

조 선 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

김 두 산

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

가시설 구조물 중간말뚝이 지하구조물 슬래브 저판에 미치는 영향에 관한 연구

지도교수 박 정 웅

이 논문을 공학박사학위신청 논문으로 제출함

2023년 10월

조 선 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

김 두 산

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

김두산의 박사학위논문을 인준함.

위원장 이 성 로 (인)

위 원 金聖洪 (인)

위 원 朴祥濬 (인)

위 원 이희영 (인)

위 원 朴正雄 (인)

2024년 1월

조 선 대 학 교 대 학 원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT

제1장 서 론 ····· 1
1.1 연구의 배경 및 목적 ····· 1
1.2 연구의 내용 및 방법 ····· 5

제2장 개구부 및 매몰부관련 연구동향 ····· 7
2.1 지하구조물의 설치 ····· 7
2.1.1 지하구조물의 지반해석 ····· 7
2.1.2 지하구조물의 구조해석 ····· 14
2.2 가시설 구조물의 설치 ····· 15
2.2.1 하중조합 ····· 16
2.2.2 재료의 허용응력 ····· 17
2.2.3 중간말뚝의 설계 ····· 18
2.3 중간말뚝으로 인한 개구부 및 매몰부 검토 ····· 19
2.3.1 설계기준 및 시방기준 검토 ····· 20
2.3.2 OO 도시철도 본선구간 개구부 및 매몰부 반영현황 ····· 29
2.3.3. 지하철 정거장 등 개착구간 바닥콘크리트 시공현황 ····· 32

제3장 중간말뚝이 구조물 매몰부에 미치는 영향분석 ····· 34
3.1 일반사항 ····· 34
3.2 구조해석 모델링 ····· 34
3.2.1 해석프로그램 ····· 34
3.2.2 구조해석을 위한 설정조건 ····· 35
3.2.3 구조해석 입력값 조건 ····· 36
3.2.4 구조물 단면력 해석조건 ····· 40

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3 슬래브 폭원별 해석결과 ····· 43
3.3.1 구조물 설치조건이 최저치일 때 해석결과 ····· 43
3.3.2 구조물 설치조건이 최대치일 때 해석결과 ····· 46
3.3.3 중간말뚝 유무에 따른 구조물 저판 단면력 해석결과 ····· 50
3.3.4 토피고에 따른 구조물 저판 단면력 해석결과 ····· 53
3.4 슬래브 두께에 따른 해석결과 ····· 81
3.4.1 구조물 설치조건이 최저치일 때 해석결과 ····· 81
3.4.2 구조물 설치조건이 최대치일 때 해석결과 ····· 85
3.4.3 중간말뚝 유무에 따른 구조물 저판 단면력 해석결과 ····· 88
3.4.4 슬래브 두께 변화에 따른 구조물 저판 단면력 해석결과 ····· 91
3.5 설치조건별 구조물 저판 중앙절점부 단면력 분석 ····· 102
3.5.1 구조물 폭원별 분석결과 ····· 102
3.5.2 구조물 슬래브 두께별 분석결과 ····· 105

제4장 중간말뚝 보강방법 검토 ····· 107
4.1 일반사항 ····· 107
4.2 중간말뚝 구조계산 ····· 107
4.2.1 중간말뚝 응력계산 ····· 107
4.2.2 보강방안 및 조건 ····· 113

제5장 결 론 ····· 115

참고문헌 ····· 117

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

표 2.1 지반반력계수 Ks 의 일반적인 범위 ····· 10
표 2.2 Terzaghi 제안식 ····· 11
표 2.3 E_o 와 α ····· 15
표 2.4 거푸집 및 동바리 등의 하중조합 및 허용응력증가계수 ····· 17
표 2.5 가설구조물 강재의 허용응력 ····· 18
표 2.6 구조물공 공통사항 ····· 23
표 2.7 가시설공 ····· 24
표 3.1 구조물 설정 규격 ····· 35
표 3.2 구조해석 입력조건 ····· 37
표 3.3 하중조합 ····· 37
표 3.4 지반의 종류 ····· 38
표 3.5 일축압축 강도와 N치와의 관계 ····· 38
표 3.6 내부마찰각과 N치와의 관계 ····· 39
표 3.7 N값과 구조물 폭원에 따른 지반반력계수 (Kv) ····· 39
표 3.8 중간말뚝이 없을 경우 N=10, H=5, B=10 조건일 때 단면력 값 ····· 43
표 3.9 중간말뚝이 있을 경우 N=10, H=5, B=10 조건일 때 단면력 값 ····· 45
표 3.10 중간말뚝이 없을 경우 N=50, H=20, B=20 조건일 때 단면력 값 ····· 47
표 3.11 중간말뚝이 있을 경우 N=50, H=20, B=20 조건일 때 단면력 값 ····· 49
표 3.12 N=10, H=5, B=10 조건일 때 저판 단면력 값 ····· 51
표 3.13 N=50, H=20, B=20 조건일 때 저판 단면력 값 ····· 52
표 3.14 토피고 5m일 때 구조물 폭원과 N값에 따른 중앙절점부
Moment-y와 Shear-z값 ····· 54
표 3.15 토피고 10m일 때 구조물 폭원과 N값에 따른 중앙절점부
Moment-y와 Shear-z값 ····· 61
표 3.16 토피고 15m일 때 구조물 폭원과 N값에 따른 중앙절점부
Moment-y와 Shear-z값 ····· 67
표 3.17 토피고 20m일 때 구조물 폭원과 N값에 따른 중앙절점부
Moment-y와 Shear-z값 ····· 74

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 3.18 중간말뚝이 없을 경우 N=10, t=0.4 조건일 때 단면력값 ····· 81
표 3.19 중간말뚝이 있을 경우 N=10, t=0.4 조건일 때 단면력 값 ····· 83
표 3.20 중간말뚝이 없을 경우 N=50, t=1.2 조건일 때 단면력값 ····· 85
표 3.21 중간말뚝이 있을 경우 N=50, t=1.2 조건일 때 단면력값 ····· 87
표 3.22 N=10, t=0.4 조건일 때 저판 단면력값 ····· 89
표 3.23 N=50, t=1.2 조건일 때 저판 단면력값 ····· 90
표 3.24 폭원 10M일 때 슬래브 두께별 N값에 따른 중앙절점부
Moment-y와 Shear-z값 ····· 92
표 3.25 CASE별 저판에 작용하는 중앙절점부 Moment Gap차 ····· 103
표 3.26 구조물 슬래브 두께에 따른 중앙절점부 Moment Gap차 ····· 105

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그 림 목 차

그림 1.1 도심지 가시설구조물 설치단면 ····· 1
그림 1.2 개착공법으로 만드는 터널의 구조시공 개념도 ····· 2
그림 1.3 측벽과 중벽 시공에 따른 바닥판에 작용하는 내하력의 개념도 ····· 4
그림 2.1 지반해석법 ····· 8
그림 2.2 지반반력계수의 결정 ····· 9
그림 2.3 중간말뚝의 보강 보기 ····· 19
그림 2.4 중간말뚝을 매설 타설 후 마감처리 할 경우 ····· 25
그립 2.5 보조pile 시공 상세도 ····· 26
그림 2.6 슬래브의 H-pile을 제거한 부분 처리 상세도 ····· 26
그림 2.7 개구부 형상에 따른 보강방법 예시도 ····· 26
그림 2.8 2변 고정 2변 자유슬래브의 개구부 설치 ····· 27
그림 2.9 Ko=0인 경우 모멘트변화 ····· 28
그림 2.10 평면요소 탄소성해석시 N값과 변위관계(ko=0) ····· 29
그림 2.11 개구부 보강 상세도 ····· 30
그림 2.12 개구부 보강 현장사례 ····· 30
그림 2.13 매몰부 보강 상세도 ····· 31
그림 2.14 매몰부 보강 현장사례 ····· 31
그림 2.15 매몰부 현행 설치 ····· 32
그림 2.16 매몰부 개선 설치 ····· 32
그림 2.17 매몰부 개선설치 시공순서도 ····· 33
그림 3.1 구조물 설정 단면도 ····· 36
그림 3.2 폭원별 절점 및 상시 경계조건 ····· 41
그림 3.3 저판에 작용하는 휨모멘트도(B.M.D) 및 전단력도(S.F.D) ····· 42
그림 3.4 중간말뚝이 없을 경우 N=10, H=5, B=10 조건일 때 구조체 단면력 ····· 44
그림 3.5 중간말뚝이 있을 경우 N=10, H=5, B=10 조건일 때 구조체 단면력 ····· 46
그림 3.6 중간말뚝이 없을 경우 N=50, H=20, B=20 조건일 때 구조체 단면력 ····· 48
그림 3.7 중간말뚝이 있을 경우 N=50, H=20, B=20 조건일 때 구조체 단면력 ····· 50

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 3.8 N=10, H=5, B=10 조건일 때 구조체 저판 단면력 ····· 51
그림 3.9 N=50, H=20, B=20 조건일 때 구조체 저판 단면력 ····· 53
그림 3.10 토피고 5m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ····· 55
그림 3.11 토피고 5m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 55
그림 3.12 토피고 5m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 56
그림 3.13 토피고 5m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ····· 57
그림 3.14 토피고 5m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 57
그림 3.15 토피고 5m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 58
그림 3.16 토피고 5m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ····· 59
그림 3.17 토피고 5m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 59
그림 3.18 토피고 5m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 60
그림 3.19 토피고 10m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 61
그림 3.20 토피고 10m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 62
그림 3.21 토피고 10m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 63
그림 3.22 토피고 10m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 63
그림 3.23 토피고 10m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 64
그림 3.24 토피고 10m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 65
그림 3.25 토피고 10m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 65
그림 3.26 토피고 10m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 66
그림 3.27 토피고 10m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 67
그림 3.28 토피고 15m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 68
그림 3.29 토피고 15m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 68
그림 3.30 토피고 15m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 69
그림 3.31 토피고 15m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 70
그림 3.32 토피고 15m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 70
그림 3.33 토피고 15m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 71
그림 3.34 토피고 15m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 72
그림 3.35 토피고 15m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 72
그림 3.36 토피고 15m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 73
그림 3.37 토피고 20m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 75
그림 3.38 토피고 20m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 75

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 3.39 토피고 20m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 76
그림 3.40 토피고 20m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 77
그림 3.41 토피고 20m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 77
그림 3.42 토피고 20m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 78
그림 3.43 토피고 20m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ···· 79
그림 3.44 토피고 20m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z 비교 ····· 79
그림 3.45 토피고 20m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 80
그림 3.46 중간말뚝이 없을 경우 N=10, t=0.4 조건일 때 구조체 단면력 ····· 82
그림 3.47 중간말뚝이 있을 경우 N=10, t=0.4 조건일 때 구조체 단면력 ····· 84
그림 3.48 중간말뚝이 없을 경우 N=50, t=1.2 조건일 때 구조체 단면력 ····· 86
그림 3.49 중간말뚝이 있을 경우 N=50, t=1.2 조건일 때 구조체 단면력 ····· 88
그림 3.50 N=10, t=0.4 조건일 때 구조체 저판 단면력 ····· 90
그림 3.51 N=50, t=1.2 조건일 때 구조체 저판 단면력 ····· 91
그림 3.52 슬래브 두께 0.4m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ····· 93
그림 3.53 슬래브 두께 0.4m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 93
그림 3.54 슬래브 두께 0.4m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 94
그림 3.55 슬래브 두께 0.6m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ····· 95
그림 3.56 슬래브 두께 0.6m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 95
그림 3.57 슬래브 두께 0.6m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 96
그림 3.58 슬래브 두께 0.8m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ····· 97
그림 3.59 슬래브 두께 0.8m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 97
그림 3.60 슬래브 두께 0.8m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 98
그림 3.61 슬래브 두께 1.0m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ····· 99
그림 3.62 슬래브 두께 1.0m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 99
그림 3.63 슬래브 두께 1.0m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 100
그림 3.64 슬래브 두께 1.2m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교 ····· 101
그림 3.65 슬래브 두께 1.2m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교 ····· 101
그림 3.66 슬래브 두께 1.2m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값 ····· 102
그림 3.67 폭원 10m일 때 토피고에 따른 저판 중앙절점부 Moment GAP차 ····· 103
그림 3.68 폭원 16m일 때 토피고에 따른 저판 중앙절점부 Moment GAP차 ····· 104
그림 3.69 폭원 20m일 때 토피고에 따른 저판 중앙절점부 Moment GAP차 ····· 104

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그림 3.70 슬래브 두께에 따른 저판 중앙절점부 Moment GAP차 ····· 106
그림 4.1 중간말뚝 설치계획도 ····· 108
그림 4.2 중간말뚝 설치 세부조건 ····· 108
그림 4.3 사용강재 세부재원 ····· 108
그림 4.4 2차선 하중 재하도 ····· 109
그림 4.5 1.5차선 하중 재하도 ····· 110
그림 4.6 1차선 하중 재하도 ····· 110
그림 4.7 중간말뚝과 주형지지보 ····· 111

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

A Study on the Effect of Center Piles of Temporary Structures on the Slab Base Plate of Underground Structures

Kim, Du San
Advisor : Prof. Park, Jeong-ung, Ph. D.
Department of Civil Engineering
Graduate School of Chosun University

Due to the development of national industries and rapid economic growth, urban areas are becoming more sophisticated and overcrowded. In addition, in order to utilize underground space more efficiently rather than above ground, the size of underground structures is also increasing in depth and size. In order to relieve traffic problems in large cities and promote efficient development of the country, urban railways, tunnels, underpasses, and underground shopping malls are being built.

Underground structure construction methods are implemented by selecting the optimal construction method by comparing and reviewing various factors such as stability of ground conditions, relationship with existing structures, constructability, traffic volume, and economic feasibility, depending on the local conditions for construction.

The selection of an applied method to install an underground structure is based on a comprehensive review and analysis of the linear conditions, the current status around the route, the geological condition of the surrounding ground, and the topographic conditions of the groundwater level, so that it is suitable for the purpose and specifications of the target object, is easy to construct, and is economically optimal construction method must be selected.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

One of the most commonly used construction methods is the cut-and-cover construction method. In order to secure the passage of vehicles and pedestrians and install underground structures, it is essential to install temporary structures to ensure constructability and safety for a long period of time. The intermediate pile, which is a support-type H-beam temporary structure installed to secure work space and support the upper load, is installed in the underground concrete structure, and the upper intermediate pile is removed after pouring the concrete for the bottom plate of the structure. The intermediate piles that remain after the underground structure is installed become integrated with the bottom slab concrete of the structure and affect the structure.

Intermediate piles, which are inevitably installed depending on site conditions and ground conditions, affect the bottom of the structure by adding to the ground reaction force applied to the entire bottom of the underground structure. However, only the design standards for openings are presented in the design standards for openings in the national construction standard slab system, and only the regulations for submitting detailed drawings are specified in the standard specifications, but design standards for buried parts are not provided.

Even if you look at the current OO urban railway construction site, there is no structural review and interpretation that may appear in the presence of H-shaped steel, which is an intermediate pile, and most sites are being constructed after waterproofing by applying the opening.

Accordingly, in this study, the impact of intermediate piles on the slab bottom plate was structurally examined, including the bearing capacity according to soil characteristics by the width of the bottom plate and the thickness of the slab, and the bending moment and shear force that the upper load exerts on the structure by case depending on the presence or absence of intermediate piles. Based on these results, reinforcement measures and design standards for buried parts were presented.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도심지 교통난 해소를 위해 도시철도, 터널, 지하차도, 지하상가, 공동구 등을 설치하게 된다. 지하구조물을 건설하기 위해서는 터널 굴착을 하지 않는 이상 예산 절감 등을 이유로 개착식 굴착 방법으로 시행된다. 차량 및 보행자의 통행 확보와 지하매설물을 설치하기 위한 작업공간 확보와 오랜 작업기간 동안 안전하게 작업할 수 있도록 유지시켜 주기 위한 필수 구조물로 가시설 구조물을 설치해야 한다.

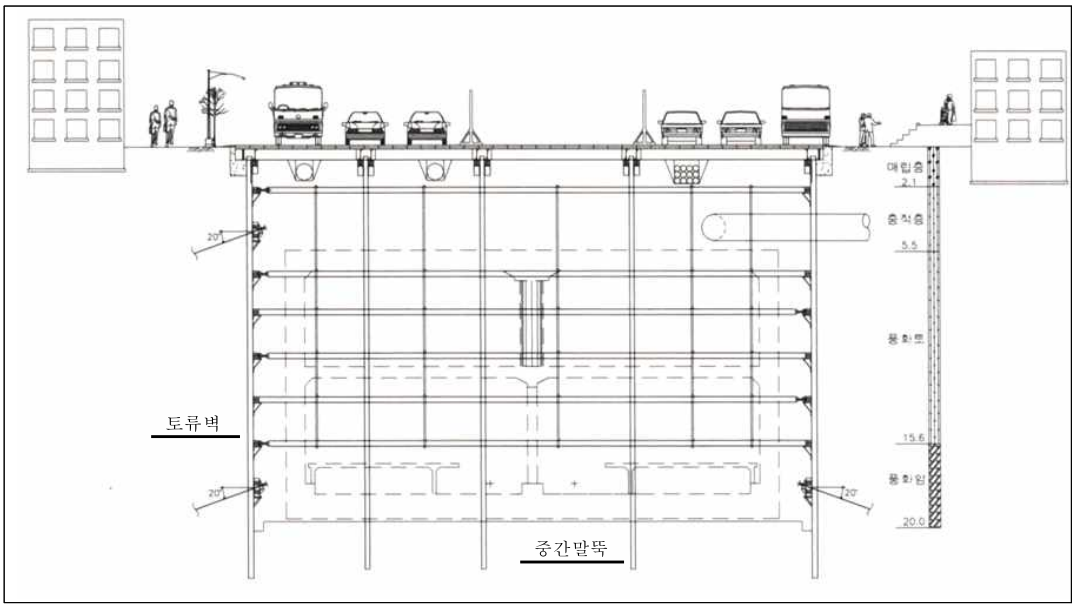


그림 1.1 도심지 가시설구조물 설치단면(서울특별시, 2019)

지하구조물의 경우에는 주변에 위치한 지반의 작용 하중과 지지조건으로 작용하는 구조물로 일반 구조물과는 다른 해석방법을 적용하고 있다. 지하구조물은 지반 거동과 구조물 거동의 상호작용을 고려한 구조해석을 수행하게 된다.

그림 1.1에서와 같이 토사붕괴 방지와 상부 하중을 지탱하기 위해 토류벽과 좌굴방지 및 상부 하중을 지지하기 위한 중간말뚝이 설치되고 있다. 강재의 경우 상부

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하중과 토압을 계산하여 중간말뚝의 수량과 간격 등을 정하게 되고 차량과 보행자 통행 확보를 위한 복공판 설치와 함께 하부에서는 토사 제거와 지하구조물을 설치된다. 이 과정에서 구조물 저판 슬래브 설치시 중간말뚝을 제거하지 않고 콘크리트를 타설하게 되고 전체적인 구조물이 완료되었을 때 저판 하부의 중간말뚝을 존치한 상태에서 상부 말뚝을 제거하게 된다. 이때 중간말뚝과 구체의 저판이 강결합이 되는데 지반위에 있는 저판은 중간말뚝이 지지하는 형태가 되어 위로 향하는 반력을 받은 저판에는 휨모멘트가 작용해 구조물 저판 슬래브 중간말뚝 매몰 부위에 부분 균열이 발생될 수 있다.

시공 사례를 통해 개착공법으로 도로 터널을 만들면서 지반이 연약한 점토층이므로 설계자는 구조물의 저판이 지반에서 위를 향하게 등분포 반력을 받을 수 있도록 구조계산을 한다. 그리고 시공과정에서 그림 1.2와 같이 가설계획을 세워 우선 흙막이 벽으로 차수성이 있는 흙시멘트 주열벽을 시공한다. 다음으로 H형강의 중간말뚝을 매설하고 스트러트를 설치하면서 개착 후 중간말뚝을 남겨 놓은채 저판의 콘크리트를 타설하게 되면 저판에 균열이 발생할 수 있다고 보고되고 있다. (닛케이컨스트럭션, 2005)

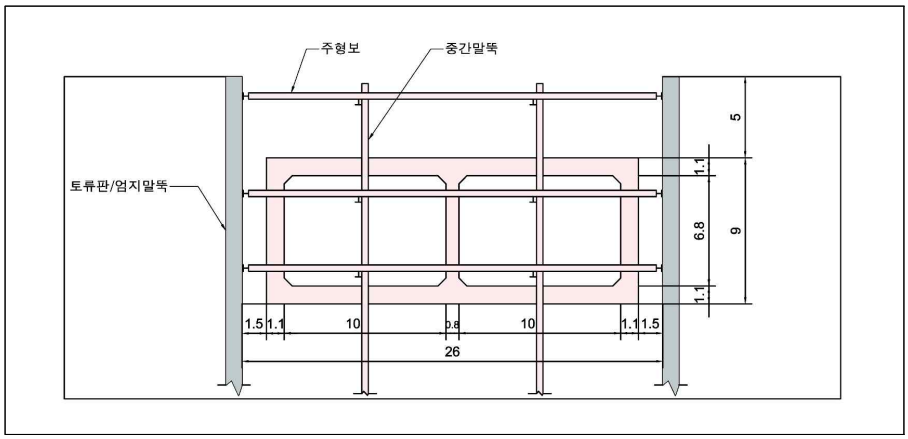


그림 1.2 개착공법으로 만드는 터널의 구조시공 개념도(닛케이컨스트럭션, 2005)

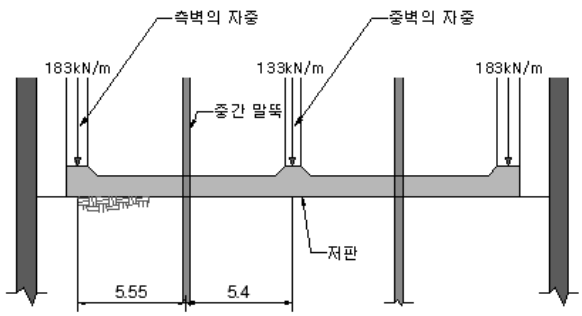
저판에 균열이 발생하는 문제는 가설계획에 따라 시공하면 중간말뚝 저판의 강결합이 되므로 연약한 지반의 위에 있는 저판은 2개의 중간말뚝이 지지하는 상태가 되어 지반에서 등분포 반력을 받는다고 한 설계자의 설계조건과 크게 다르기 때문이다. 중간말뚝에서 위로 향하는 반력을 받은 저판에는 큰 휨모멘트가 작용해

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

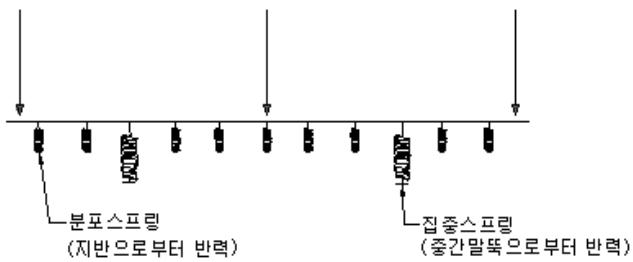
저판의 상면에 균열이 생길 우려가 있음을 알려주고 있다.

터널의 박스 구조물의 구조계산을 위해서는 우선, 구조물의 저판에 작용하는 지반 반력을 구해야 한다. 지반 반력의 분포는 주위의 지반 상태에 따라 다르며, 일반적으로 부드러운 지반일수록 지반 반력이 저판 전체에 균등하게 작용한다. 반대로 단단한 지반일수록 구조물의 측벽이나 중벽 등의 바로 밑부분에 지반 반력이 집중적으로 더해진다. 연약한 지반의 경우 시공시의 가설 방법에 의해 구조물에 다양한 하중이 가해지는 경우도 적지 않은데 그 대표적인 예가 중간말뚝이다.

흙막이벽을 설치하고 주형보와 함께 버팀보와 띠장 등의 지보공으로 설치하는 경우 중간말뚝은 버팀보가 좌굴하는 것을 막는다. 그림1.2와 같이 굴착폭과 버팀보가 긴 경우 중간말뚝은 꼭 필요하게 된다. 여기서 구체의 주판의 콘크리트를 타설할 때 중간말뚝을 남긴 채로 저판의 콘크리트를 타설하는 경우 저판과 중간말뚝은 강결합이 된다. 이와 같은 상태로 측벽과 중벽의 콘크리트를 타설할 때 저판에 가해지는 힘은 그림 1.3(a) 와 같다.

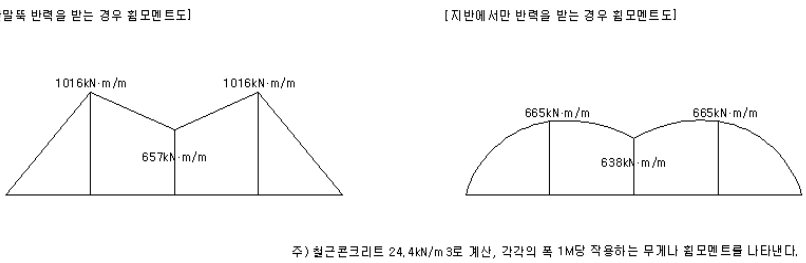


(a) 작용하중



(b) 구조모델링

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(c) 중간말뚝 유무에 따른 휨모멘트선도

그림 1.3 측벽과 중벽 시공에 따른 바닥판에 작용하는 내하력의 개념도(닛케이컨스트럭션, 2005)

저판에는 측벽이나 중벽의 자중이 아래 방향으로 재하된다. 한편 저판의 하면 전체에서 받는 지반반력과 중간말뚝에서 집중적으로 받는 반력은 위로 향해 작용한다. 2종류의 반력을 스프링으로 모식적으로 나타낸 것이 그림 1.3(b)이다. 연약한 지반에서는 지반반력을 나타내는 분포 용수철의 영향은 적어, 중간말뚝에서 반력을 나타낸 집중 용수철의 영향이 상대적으로 커진다.

저판이 중간말뚝에서 반력을 받는 경우 저판에 생기는 휨모멘트 크기를 나타낸 것이 그림 1.3(c)이다. 중간말뚝의 부분에서 저판에 1,016kN·m의 휨모멘트가 가해진다. 중간말뚝이 없고 저판의 하면 전체에 지반반력을 받는 경우 작용하는 휨모멘트와 비교해 최대 약 50% 증가한 휨모멘트가 발생한다. 이러한 부가적으로 발생하는 휨모멘트를 해결하는 방법으로 구조물 하단부에서 중간말뚝을 절단하여 구조물과 중간말뚝이 강결합이 되지 않게 하거나 중간말뚝 사이에 별도의 하부 말뚝을 설치해서 모멘트 집중을 줄이는 방법 등이 있다.

이와 관련하여 국내 연구결과를 살펴보면 개구부에 대한 연구결과가 활발하게 진행되고 기준 또한 명확하게 명시되어 있다. 그러나 매몰부에 대한 연구들은 거의 찾아볼 수 없는 실정이다. 콘크리트 슬래브와 기초판 설계기준(국가건설기준, 2021)을 보면 개구부에 대한 보강 기준만을 나열하고 있을 뿐 매몰부에 대한 설계기준이 명시되어 있지 않다. 다만, 표준시방서(국가건설기준, 2022)에 시공과정 중 개구부 및 매몰부에 대한 시공상세도 제출 규정만 명시되어 있다.

설계 과정 중에 지반 상태와 중간말뚝이 저판 슬래브에 미치는 영향을 고려하지 않은 채 구조물과 기초지반의 경계 부위에 지지조건을 스프링으로 이상화하여 구조해석을 시행하게 되고 이를 기준으로 현장에서는 별다른 검토 없이 관행적으로 시공하고 있음을 확인하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

본 연구는 가시설 구조물과 지하구조물 본체가 일체화 되었을 때 실제적으로 구조물에 미치는 영향력을 검토하기 위해 OO 도시철도 표준구간과 SHEET-PILE 구간에 대한 가시설 구조물인 중간말뚝이 지하구조물에 어떻게 시공되고 있는지를 검토하였다. 구조물 폭원별 CASE와 구조물 두께별 CASE를 설정하여 지하구조물 중간 말뚝이 구조물의 저판에 작용하는 지반력을 계산하였다. 또한, 토질조건에 따라 지하구조물 저판의 폭과 상부에 걸리는 하중을 달리하여 중간말뚝의 유무에 따른 지하구조물 슬래브 저판에 미치는 영향을 검토하였다. 이러한 해석결과를 기반으로 지반조건과 중간말뚝에 의해 발생하는 매몰부 내하력을 평가하여 보강 범위를 규정하는 설계기준안을 제시하고자 하였다.

1.2 연구의 내용 및 방법

개착식 지하구조물은 BOX형식으로 종방향으로 동일한 단면과 하중조건을 가지고 있다. 따라서 구조해석시 2차원 평면해석을 수행하였으며, 사용한 프로그램은 범용 구조해석용 프로그램인 MIDAS를 사용하였다. 각 해석 CASE별 구조해석을 위한 조건을 부여하였으며, 가시설물인 중간말뚝이 지하 구조물에 미치는 영향을 분석한 결과를 토대로 매몰부 보강 범위 및 보강방법을 설계기준에 제시하고자 하였다. 본 논문의 주요 내용을 분류하면 다음과 같다.

(1) 제2장에는 본 연구 진행을 위해 지하구조물을 설치에 있어 가시설물과 지하구조물 설치에 따른 지반해석법과 구조해석 기준을 조사하였다. 가시설 구조물 및 지하 구조물 중 중간말뚝으로 인한 개구부와 매몰 부위에 대한 관련 국내외 문헌 등의 고찰을 실시하였다. 현재 실태를 분석하기 위해 시공 중에 있는 광주 도시철도 표준구간과 SHEET-PILE 구간에 대한 가설 구조물인 중간말뚝 시공실태를 분석하고 중간말뚝의 개구부 및 매몰부에 대한 설계기준과 시방기준을 조사하였다.

(2) 제3장에서는 구조해석을 위한 지하 BOX 구조물에 대한 일반적인 기준값을 설정하였다. 구체적으로는 토질조건, 개착식 구조물 설치가 가능한 토피고 설정 및 차로수를 고려한 구조물 저판 폭원 설정 등 중간말뚝 설치 유무에 따른 폭원별 120 CASE와 슬래브 두께별 50 CASE 조건에 대해, 토질별 특성과

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

중간말뚝의 설치 간격에 따른 내하력을 계산하였다. 그리고 구조물 상부에 걸리는 토사 하중 등을 감안하여 지하구조물 저판에 미치는 휨모멘트와 전단력을 국가건설기준에 의한 철근콘크리트 구조물 강도설계법을 이용하여 비교 분석하였다.

(3) 제4장에서는 구조해석 CASE별 분석 결과를 토대로 중간말뚝 매몰부위에 대한 보강방안 검토와 국가건설기준에 의한 강재의 허용응력법을 적용하여 보강법에 대한 적합성을 검토하였다. 이를 통해 합리적 보강기준 설정과 타당한 설계기준안을 제시하고자 하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 개구부 및 매몰부관련 연구동향

지하 구조물의 본선 및 부대시설을 건설하는데 시행되는 개착구조물은(국가건설기준, 2022)에 따라 원칙적으로 강도설계법의 규정에 따라 구조적 안정성과 균열 및 사용성 검토도 수행한다. 강제 구조물, 가설 구조물 및 기타 구조물에서 허용응력 설계법이 보다 타당한 경우에는 허용응력 설계법에 따르도록 하고 있다. 지하 시공을 위한 공간 확보와 상부하중을 지지하기 위한 가설 구조물의 경우 허용응력 설계법에 따라 지지력을 확보한 후 시공하도록 되어 있다. 이때 구조물 시공 후 중간말뚝이 저판 슬래브에 남게 되는데 이로 인해 저판의 상부 파일 매몰부위에 부분균열이 발생될 수 있다.

여기서는 중간말뚝 관련 문제점에 대한 연구 동향과 함께 슬래브와 기초판, 가설구조물에 대한 설계기준을 조사하고, 중간말뚝으로 인한 개구부 및 매몰부에 대한 처리기준을 조사하였다.

2.1 지하구조물의 해석

2.1.1 지하구조물의 지반해석

지반해석을 함에 있어(변형석, 2013) 그림 2.1에서 보는 바와 같이 이론해석법과 수치해석법으로 대별되며 이론해석법은 다시, 변형거동과 수리거동에 의한 연속해법(closed form solution)과 역학 및 수리불안정을 다루는 단순해법(simple method 또는 관습해법, conventional method)으로 구분된다(박재원, 2016). 지반해석법, 지반설계법 중 가장 광범위하게 사용되는 방법은 지반해석법(geotechmical analysis)이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

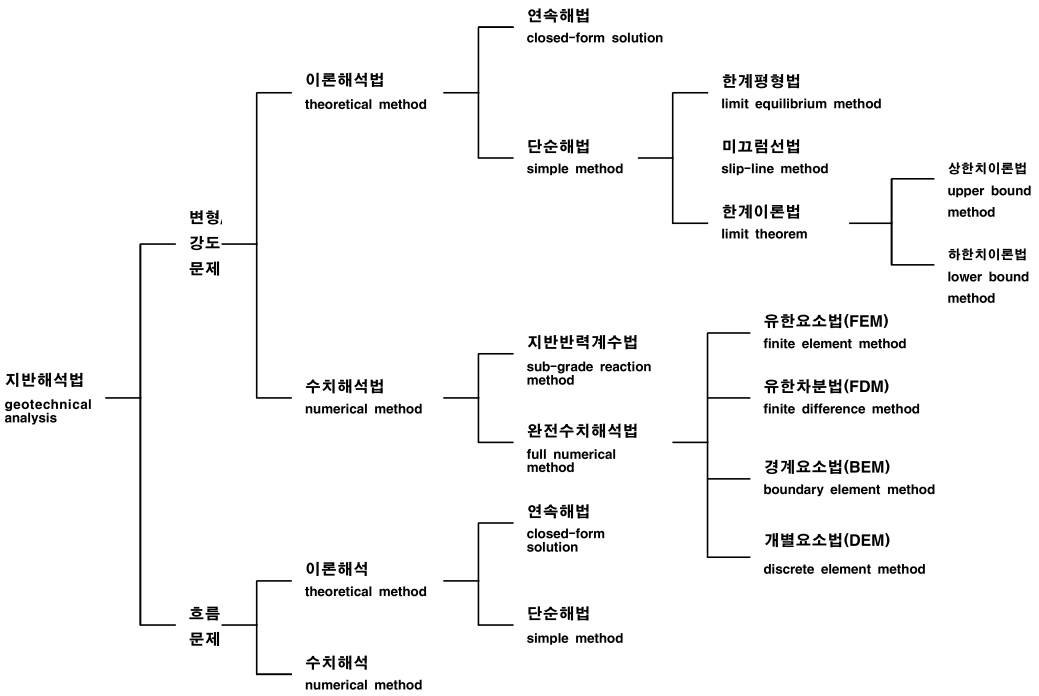


그림 2.1 지반해석법

이론 해석법을 살펴보면 연속해법은 어떤 특정지반 구조물에 대하여 재료 거동에 대한 구성모델 표현이 가능하고 경계조건이 분명히 정의되는 경우 편미분 지배방정식에 의해 정확한 이론해를 얻을 수 있다. 이론해를 유도하거나 적용할 수 있는 범위는 매우 제한적이나 이 방법은 공학적 직관을 제공한다.

단순해법은 파괴상태를 가정하여 지배방정식이 만족하는 조건의 일부분만을 만족하는 상태에서의 근사해를 구하는 지반해석법이다. 한계평형해석법, 한계이론해석법, 응력장해석법 등 안전문제 검토법이 여기에 속한다.

수치해석법은 모델링 방법에 따라 지반반력계수 모델링법과 완전수치해석법이 있다. 이론체계에 따라 유한차분법, 유한요소법 그리고 경계요소법이 있다. 이 해법은 다른 해법들이 갖는 어떤 한계도 배제할 수 있다. 컴퓨터 성능의 발달은 수치해석에 소요되는 비용과 시간의 문제를 해결하여 주었다. 수치해석은 다양한 경계조건 및 물성 변화를 고려할 수 있어 지반해석에서 적용범위가 가장 넓은 방법이다. 컴퓨터 기술의 향상과 전산프로그램의 개발로 인해 사용이 급속도로 확대되고 있다. 또한 탄소성모델, 점탄성모델 등 보다 진보된 지반구성 모델의 개발과 함께

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

매우 복잡한 경계조건뿐만 아니라 지반의 이반성, 불균질성, 비선형성, 불연속성 등 재료 특성에 대한 해석도 가능하다. 따라서 시공과정에 대한 모사도 가능하기 때문에 종래에는 예측이 불가능 했던 터널의 거동 특성도 예측이 가능한 이점이 있다.

수치해석법은 재료의 거동, 수리 상호작용과의 연계, 모델의 차원, 배수조건 등에 따라 여러가지 형태로 분류할 수 있다. 재료의 거동에 따라 선형해석과 비선형해석 또는 탄성해석과 탄소성해석이 있으며, 모델의 기하학적 차원에 따라 2차원 해석과 3차원 해석으로 분류된다. 수리거동과 역학거동의 결합 여부에 따라 비 연계 해석과 연계 해석으로, 배수조건에 따라 전응력해석(비배수해석)과 유효응력해석(배수해석)으로 분류되며, 작용하중의 시간 의존성에 따라 정적해석과 동적해석으로, 불확실성의 고려방식에 따라 확정론적 해석과 신뢰도기반 해석으로, 해석의 미지수 조건에 따라 정해석과 역해석으로 분류할 수 있다.

지반 수치해석법에는 대표적으로 지반 반력계수 모델링과 완전수치 모델링법의 두 가지 접근방법이 사용되고 있다. 지반 수치해석법을 구분하면 지반의 거동을 스프링의 거동으로 단순화(지반 - 구조물 상호작용을 조사)한 지반반력계수 모델링법, 대상 지반 문제의 모든 부분을 모델링(흙의응력 - 변형률 거동, 지반 현황의 경계조건 고려)한 완전수치 모델링법, 유한요소해석법과 유한차분법인 연속모델법, 개별요소법과 입상체모델법인 불연속모델법이 있다.

수치해석법에서 지반 반력계수법(subgrade reaction method)은 지반 반력계수란 기초부재의 구조적 해석에 널리 사용되는 지반 반력계수 **ks**을 지반 스프링으로 간주한다. 구체적으로는 기초의 강성을 나타내는 상수로서, 기초의 하중재하 초기단계의 단위면적당 하중을 침하량으로 나눈 값으로 **ks**(지반반력계수) = q(하중) / δ(침하량)으로 정의되며, 단위는 kN/㎥이다.

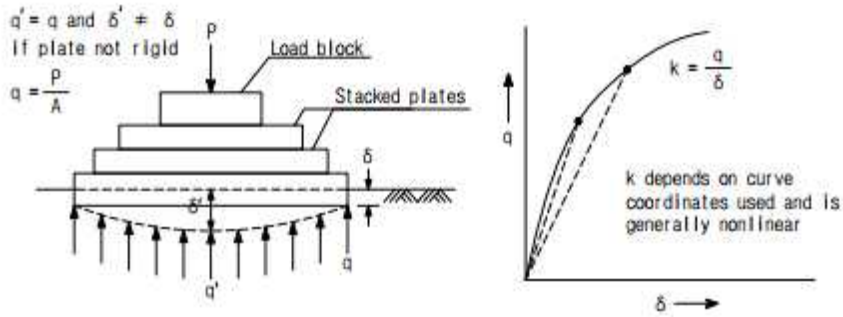


그림 2.2 지반반력계수의 결정(변형석, 2013)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하중시험으로부터 q와 δ의 관계는 그림 2-2에 표시된 형태의 곡선으로 되는데 지반 반력계수는 이 곡선의 할선경사로서 정의된다. 표 2.1은 흙의 분류 및 상태에 따른 일반적인 범위의 지반 반력 계수값을 나타내고 있다.

표 2.1 지반반력계수 **ks**의 일반적인 범위(Bowles, J.E., 1996)

Soil		ks (kN/㎥)
Sand	Loose	4,800 ~ 16,000
	Medium dense	96,000 ~ 80,000
	Dense	64,000 ~ 128,000
Clayey medium dense sand		32,000 ~ 80,000
Silty medium dense sand		24,000 ~ 48,000
Clayey soil	qu = 100 ~ 200kPa	12,000 ~ 24,000
	qu = 200 ~ 400kPa	24,000 ~ 48,000
	qu > 400kPa	> 48,000

암거구조 해석에서 적절한 지반 스프링 간격에 대한 연구(이동은, 2019)에서 지반 반력계수의 산정방법에 따르면 지반 반력계수는 기초 설계시 중요한 자료로서, 지반의 종류 및 상태뿐만 아니라 기초의 크기, 형상, 근입 깊이, 하중 작용위치 등에 따라 변하게 된다.

기초의 크기가 크게 되면 지중 응력이 미치는 범위가 크게 되어 같은 하중에 대한 침하량도 같이 커지게 되므로 지반 반력계수가 작아지게 된다. 근입 깊이가 깊을수록 지반 반력계수가 커지게 된다. 지반 반력계수는 각 공식의 특성 및 재하면적에 따라 2~100배 이상 차이가 나게 된다. 또한 전면 기초처럼 재하 폭이 커질수록 기초 크기 효과를 고려하지 못하고 과소평가될 수 있다. 지반 반력계수를 산정할 때는 지반의 특성, 기초 재하면적 등의 영향을 종합적으로 고려하여 합리적으로 결정하여야 한다.

지반 반력계수는 일반적으로 평판재하시험이나 표준관입시험 등을 실시하여 실험적 방법으로 구할 수 있으며, 다음과 같이 다양한 계산식을 이용하여 산정 할 수도 있다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(1) Terzaghi 제안식(평판재하시험)

Terzaghi(1955)는 한변의 길이가 30cm인 정사각형 평판재하시험으로 부터 $k_{0.3}$을 구한 후 표 2.2와 같이 실제의 지반반력계수 k_s값을 구하기 위한 식을 제안하였다.

표 2.2 Terzaghi 제안식(Terzaghi 1955)

점토지반(kN/㎥)	사질토지반(kN/㎥)	
	정사각형	직사각형(폭B x 길이L)
$k_s = k_{0.3}\frac{0.3}{B}$	$k_s = k_{0.3}(\frac{B+0.3}{2B})^2$	$k_s = k_{0.3}(\frac{1+0.5\frac{B}{L}}{1.5})$

여기서, : k_s : 기초의 지반반력계수(kN/㎥)

$k_{0.3}$: 0.3m x 0.3m 크기의 기초의 지반반력계수(kN/㎥)

B : 기초판의 폭(m) L : 길이(m)

(2) Vesic 제안식

Vesic(1961)은 기초의 종방향 길이가 긴 경우 실내압축시험에서 구한 탄성계수(E)를 사용하여 지반 반력계수를 구하는 방법을 제안하였다.

$$k_s = 0.65\sqrt[12]{\frac{EB^4}{E_f I_f}}\frac{E}{B(1-\nu^2)} \quad (2.1)$$

여기서, E : 지반의 탄성계수 Ef : 기초의 탄성계수

v : 지반의 포아송비 If : 기초의 관성모멘트($If = 1/12Bh^3$)

h : 기초판의 두께(m) B : 기초판의 폭(m)

(3) Scott 방법

Scott(1981)는 사질토에 대하여 $k_{0.3}$ 값을 임의 깊이에서 표준관입시험 결과값으로 구하는 식을 다음과 같이 제안하였다.

$$k_{0.3} = 1{,}800N_{cor}(kN/㎥) \quad (2.2)$$

여기서 N_{cor} : SPT 수정표준 관입값

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

(4) 침하 해석

침하해석을 통하여 역으로 계산하여 지반 반력계수를 산출할 수 있다. 즉, 전면기초에서 침하는 등분포 접지압을 가정하여 평균침하를 구한 후에 접지압을 평균침하로 나누어 지반 반력계수를 구할 수 있다.

$$k_{0.3} = \frac{P}{\triangle H_{avg}} \ (kN/m^3) \qquad (2.3)$$

여기서, $\triangle H_{avg}$: 전면기초의 평균침하(계산된 값), P : 접지압 (kN/m^3) 완전탄성체에 놓여진 연성원형전면기초의 평균침하 $\triangle H_{avg}$ 는 중앙침하의 0.85배이며 강성원형전면기초는 0.79배이다.

완전수치해석법(full numerical approach)에는 대상 지반문제의 모든 부분을 모델링에 포함하며 경계치 문제가 요구하는 모든 조건을 만족한다. 특히 실제적인 흙의 응력-변형률 거동을 모사하는 구성방정식을 사용할 수 있으며 현장 조건과 일치하는 경계조건을 고려할 수 있다. 따라서 수치해석으로 얻어지는 해는 요소를 매우 작은 크기로 줄여갈수록 이론해에 가까운 해를 얻을 수 있다.

수치해석의 활용범위는 일일이 열거할 수 없을 정도로 광범위하다. 수치해석의 용도는 크게 정성적 해석과 정량적 해석으로 구분할 수 있다. 정성적해석은 수치적 결과보다는 개념적 이해를 위한 해석이며, 정량적해석은 해석외 결과를 절대수치로 얻고자 하는 해석을 말한다. 정성적해석(qualitative analysis)은 숫자적 정보보다는 문제의 해를 지배하는 공학원리의 개념적 이해를 위한 해석이다. 지반공학에서 특정 파라미터외 영향을 조사한다면 정성해석으로 볼 수 있다. 어떤 이해를 위한 정성적 접근은 비교해석과 기초원리해석으로 구분할 수 있으며, 비교해석은 파라미터해석과 민감도 분석으로 구분할 수 있다. 정량적해석(quantitative analysis)은 설계란 대상목적물의 안정성과 사용성을 경제적으로 확보하는 활동이라 할 수 있다. 이때 안정성은 붕괴에 대한 적당한 안전율을 갖는 것이며, 사용성은 운영 중 가능한 상황에 대하여 기능손상, 혹은 저하가 없도록 하는 것이다. 지반공학에서 전통적인 의미의 설계란 극한평형법 혹은 한계이론을 이용한 지반붕괴(활동, 전도 등) 검토, 그리고 탄성론에 의한 변형량 검토의 방법으로 수행되어 왔다.

지반수치해석 기법의 특징은 강성과 직접강성도법(매트릭스해석)은 힘과 변위의 관계로부터 유도된(강성을 계수로 하는) 변위의 연립방정식을 푸는 해석법을 매트릭스 해석 또는 직접강성도법(direct stiffness method)이라고도 한다. 매트릭스해석은

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

힘과 변형의 관계정의가 간단하게 유도되는 스프링, 바(트러스), 보와 같은 요소에 쉽게 적용할 수 있다. 즉, 매트릭스 해석은 구조요소가 하나의 부재를 형성하는 이산요소계 해석에 편리하다. 트러스, 보, 프레임 등이 이러한 구조계에 속한다. 매트릭스해석은 주로 구조해석 문제에 적용되지만, 지반문제도 버팀벽, 지반앵커, 록볼트, 네일, 파일, 터널라이닝, 기초 등과 같이 구조체를 포함하는 경우가 많다.

매트릭스해석은 수치해석적 근사화와 무관하지만 이에 대한 이해는 강성행렬의 유도와 물리적 의미를 파악하는데 도움이 된다. 주요 매트릭스 해석 대상요소와 관련 지반구조물은 다음과 같다.

(1) 스프링요소 : 지반반력 스프링(지반을 스프링으로 모사), 지반앵커

(2) 바(bar, truss)요소 : 록볼트(rock bolt), 지반네일

(3) 보(bearn)요소 : 말뚝, 터널 라이닝, 버팀벽, 옹벽, 기초(모멘트 영향이 큰 부재)

유한요소법(FEM, finite element method)은 유한요소란 표현은 1960년 Clough가 처음 사용하였으며, 그 첫 적용은 항공기의 구조해석이었던 것으로 알려져 있다. Zienkivicz는 Imperial College에서 콘크리트댐의 해석에 FEM을 적용을 연구 하였고, 이후 FEM이 토목공학의 설계해석 도구로 자리 잡는데 크게 기여하였다. 컴퓨터의 발달은 이 해석법이 다양한 범주의 문제에 대한 가장 강력하고 다양한 기능을 갖는 진보된 해법으로서 적용되었다.

유한요소법은 연속체로서 구조계를 특정 점들의 물리량 예를 들어, 특정점의 변위나 기울기 또는 이에 대응하는 단면력 만으로 구조특성을 나타내는 이산화 구조계를 해석모델로 선정하는 기본개념에서 출발하였다. 기존의 매트릭스 구조해석법은 뼈대 구조물에서만 적용하였으나 유한요소법은 연속체로서 구조물뿐만 아니라 생활속의 다양한 물리 문제를 해결할 수 있는 방법이다. 토목구조물에 있어서 지반이나 유체와 같이 재료적 특성이 불명확한 경우 반복적인 방법으로 적절한 해를 구할 수 있다.

유한차분법(FDM)은 유한차분법을 지반 공학에 적용하는 경우 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 지배 미분 방정식의 풀이법으로 단순 이용하는 경우와, 둘째는 지반거동의 정적 및 동적 연속체 역학의 시스템 지배방정식을 푸는 경우이다. 이 경우 유한요소 이론과 같은 정식화 과정이 없이 요소 미분 방정식의 적분을 통한 이론 전개가 가능하다. 유한차분법은 계산과정이 순차적이어서 유한요소법보다 메모리 용량의 소모가 적다는 장점이 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

개별요소법(DEM, discrete element method)은 불연속체의 거동해석법이다. 불연속체의 거동은 연속체의 미분방정식이 성립하지 않는다. 특정 불연속체와 이에 접하는 불연속체와의 저촉거동과 상호작용에 따른 동적 운동방정식이 지배방정식이다.

입상체해석(PFC, particle flow code)은 정적평형조건에 기초한 강성행렬을 구성하고, 연립방정식을 푸는 기법이다. 하지만, PFC법은 유한요소법과 달리 강성행렬이 입자의 이동이나 회전에 따라 매순간 변화한다.

2.1.2 지하구조물의 구조해석

콘크리트 구조물의 설계는 콘크리트 구조설계 일반사항(국가건설기준, 2022)에 의한 강도설계법을 적용하는 것을 원칙으로 하고 있다. 지하구조물의 구조해석(한국철도시설공단, 2017)에 의거 지하구조물을 설치함에 있어 모든 구조물은 해석 가능한 모델로 이상화 하고, 부재는 도심축과 일치하도록 하며 헌치에 의한 도심의 변화는 고려하지 않는 것으로 한다. 박스구조물의 횡단면 해석은 일반적으로 라멘구조로 하고 건설위치 상황에서 발생될 수 있는 제반하중을 고려하여야 하며, 시간적으로는 공사중 및 완공후의 모든 상황에 대하여 안정성이 확보될 수 있도록 하여야 한다.

지점의 경계조건 구조 해석시 지점조건은 연직, 수평방향 스프링을 설치하거나 힌지, 롤러를 설치하는 방법이 적용될 수 있다. 실제 지반조건에 적합한 방법을 적용하여야 하며 지점의 경계조건은 기초지반의 종류에 관계없이 저판의 모든 부위에 지반반력 계수와 설치 간격으로부터 환산된 스프링을 설치(간격 1.0m 이내)한 모델로 계산하는 것을 원칙으로 한다. 부력 등에 의하여 스프링에 인장이 발생 할 경우 인장을 받는 스프링은 차례로 제외시켜 최종적으로 압축만 받는 스프링만 남겨둔 상태의 모델해석 결과를 취하여야 한다. 다만, 암반지반에서는 벽체 또는 기둥 하단부위에 회전 또는 이동지점의 경계조건을 부여할 수 있다.

지반 반력계수 적용은 구조물이 토사지반에 위치하는 경우에는 구조물 저판밑의 지지부에 지반 스프링을 두어 해석하는 것을 원칙으로 하며 이때 적용되는 연직방향 지반 반력계수는 각종 조사 및 시험결과에 의해 얻어진 변형계수 및 기초의 재하폭 등의 영향을 고려하여 정한다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

$$K_V = K_{vo}(B_V/0.3)^{-3/4} \quad (2.4)$$

여기서, K_V : 연직방향 지반 반력계수(kN/m^3)

K_{vo} : 지름 300 mm의 강체원판에 의한 평판재하시험의 값에 상당하는 연직방향 지반 반력계수(kN/m^3)로서 각종 토질시험·조사에 의해 구한 변형계수로부터 추정하는 경우는 다음 식에 의한다.

$$K_{vo} = \frac{1}{0.3}\alpha E_o$$

B_V : 기초의 환산 재하폭(m)으로 구조물 저판의 지간을 적용

E_o : 아래 표에 표시한 방법으로 측정 또는 추정한 설계의 대상이 되는 위치에서의 지반의 변형계수(kN/㎡)이며, α값은 지반반력계수의 추정에 쓰이는 계수로서 표 2.3에 주어져 있다

표 2.3 E_o 와 α

다음의 시험방법에 의한 변형계수 E_o(kN/㎡)	α	
	평상시	지진시
지름 300mm의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수의 1/2	1	2
시추공 내에서 측정한 변형계수	4	8
공시체의 1축 또는 3축 압축시험에서 구한 변형계수	4	8
표준관입시험의 N값에서 E_o= 2,800N으로 추정한 변형계수	1	2

구조물이 암반지반에 위치하는 경우 지반반력 계수는 시험성과가 있을 때에는 시험값을 사용하되, 시험값이 없는 경우에는 암반의 공학적 특성값(변형계수, 일축압축강도, RQD 등)과의 상관관계에서 구하여 사용한다.

2.2 가시설 구조물의 설치

가시설 구조물의 설치계획은 가설지점의 지형, 하천, 도로의 상황, 환경조건, 토질

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

조사 시험결과, 구조물의 규모 및 형식, 시공할 때 발생하는 노면하중, 토압, 수압 등을 고려한다. 굴착지반의 안정을 충분히 확보하여 합리적이며 경제적으로 계획·설계하도록 하여야 한다. 강구조설계기준 일반사항(국가건설기준, 2019)에 강재는 허용응력설계법에 기초한 구조설계에 적용토록 하고 있다. 지중 연속벽과 같은 강성벽체는 강도설계법으로 할 수 있다. 이를 토대로 OO 도시철도구간 가시설구조물의 설치기준 및 반영내용은 다음과 같다.

2.2.1 하중조합

가시설 구조물의 설계에서는 고정하중, 활하중, 충격하중, 토압 및 수압, 기타하중을 고려하여야 한다. 가시설물 설계에 적용되는 설계하중은 연직하중(고정하중(D)과 활하중(L)), 활화중(설계차량하중(L_w)과 작업하중(L_i)), 수평하중(풍하중(W), 지진하중(E), 콘크리트 측압(P), 수압(F), 토압(H), 파압(WP), 타설시 충격 또는 시공오차 등의 의한 최소 수평하중(M), 온도하중(T)), 특수하중(S)은 편심하중, 콘크리트 내부 매설물의 양압력, 포스트텐션(post tension) 시에 전달되는 하중, 작업하중 이외의 충격하중(I), 진동다짐에 의한 하중, 안전시설의 특수한 설비를 설치한 경우, 적설하중, 교통하중, 인접 건물 하중을 고려하여야 한다.

불균등하중은 가시설물 인양시 발생하는 하중으로 지지상태를 고려하여 적용하여야 한다. 가시설물을 3점 이상으로 다점지지 하는 경우에는 각 지지점의 상대변위를 불균등하중으로 고려한다. 여기서 불균등하중은 각 지지점의 상대변위가 없다고 판정해서 산출한 지지반력에 적절한 계수를 곱해서 구함을 원칙으로 한다. 인양고리는 가시설물 자중 이외에 2점 방식의 경우 가시설물 자중의 50%, 4점 방식의 경우 100%의 불균등하중을 고려하여야 한다. 다만, 수평조절장치 등을 사용하고 힘의 균형을 고려한 경우에는 이 기준을 따르지 않아도 된다.

가시설물 설계시에는 시공 중 또는 사용기간 중에 작용할 것으로 예상되는 하중들을 각 하중들의 발생특성에 따라 합리적으로 조합하여 검토하여야 하며 하중 종류에 따라 적용되는 하중조합 및 증가계수는 표 2.4와 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 2.4 거푸집 및 동바리 등의 하중조합 및 허용응력증가계수

CASE	하중조합	허용응력 증가계수
1	고정하중(D)+작업하중(L_i)+수평하중(M)	1.00
2	고정하중(D)+풍하중(W)	1.25
3	고정하중(D)+작업하중(L_i)+수평하중(M)+특수하중(S)	1.50

2.2.2 재료의 허용응력

허용응력의 할증계수 적용에 있어 이 기준에서 제시된 허용응력 값들에 가시설 구조물의 경우 1.5(철도하중 지지 시 1.3)를 적용하고 영구 구조물로 사용되는 경우 시공도중 1.25, 완료 후 1.0의 할증계수를 곱하여 적용한다. 공사기간이 2년 미만인 경우에는 가설구조물로, 2년 이상인 경우에는 영구구조물로 간주하여 설계한다. 만약, 가설구조물로 설계된 구조물이 2년 이상 경과하면 안정성을 보장할 수 없으므로 안전점검 또는 안전진단을 실시하여 흙막이 벽의 상태를 파악하여야 하며 잔여 공사기간을 고려하여 안전성을 확보할 수 있도록 대책을 수립하여야 한다.

구조용 강재의 허용응력은 표 2.5 값 이하로 한다. 강재의 종류에는 일반구조용 압연강재인 SS(Steel for Structure)와 용접구조용 압연강재인 SM(Steel for Marine)으로 나누며, 일반구조용 압연강재인 SS275, 용접구조용 압연강재인 SM275와 SM355, H형강말뚝인 SHP275(W)와 SHP355W가 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

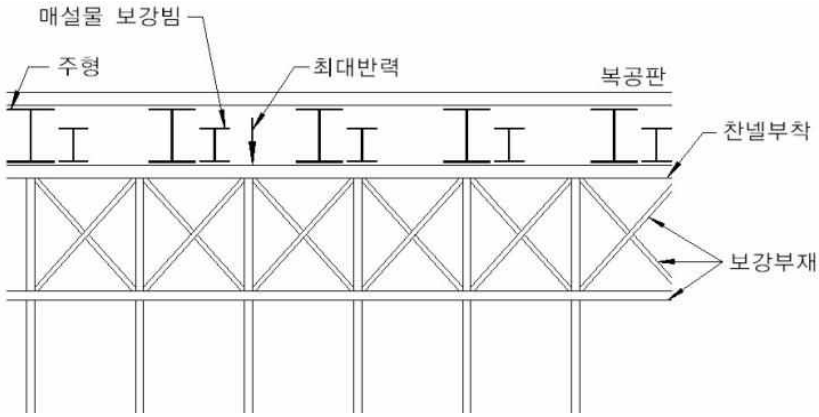
표 2.5 가설구조물 강재의 허용응력(MPa)

종류		SS275, SM275, SHP275(W)	SM355, SHP355W	비 고
축방향인장 (순단면)		240	315	160×1.5=240 210×1.5=315
축방향압축 (총단면)		$\frac{l}{\gamma} \leqq 20$일 경우 240	$\frac{l}{\gamma} \leqq 16$일 경우 315	l(mm) : 유효좌굴장 γ(mm) : 단면2차반경
		$20 < \frac{l}{\gamma} \leqq 90$일 경우 $240 - 1.5\left(\frac{l}{\gamma} - 20\right)$	$16 < \frac{l}{\gamma} \leqq 80$일 경우 $315 - 2.2\left(\frac{l}{\gamma} - 16\right)$	
		$\frac{l}{\gamma} > 90$일 경우 $\left[\frac{1{,}875{,}000}{6{,}000 + \left(\frac{l}{\gamma}\right)^2}\right]$	$\frac{l}{\gamma} > 80$일 경우 $\left[\frac{1{,}900{,}000}{4{,}500 + \left(\frac{l}{\gamma}\right)^2}\right]$	
휨응력	인장연 (순단면)	240	315	
	압축연 (총단면)	$\frac{l}{\beta} \leqq 4.5$; 240	$\frac{l}{\beta} \leqq 4.0$; 315	l : 플랜지의 고정점 간 거리 β : 압축플랜지 폭
		$4.5 < \frac{l}{\beta} \leqq 30$ $240 - 2.9\left(\frac{l}{\beta} - 4.5\right)$	$4.0 < \frac{l}{\beta} \leqq 27$ $315 - 4.3\left(\frac{l}{\beta} - 4.0\right)$	

2.2.3 중간말뚝의 설계

중간말뚝에 작용하는 연직하중은 주형 또는 매설물 전용빔에 제한된 하중에 의해 생기는 최대 반력으로 한다. 중간말뚝의 종방향 강성을 증가시키기 위해 중간말뚝 간에 사재 등의 보강부재를 조립시킨 경우에는 하중분배를 고려할 수 있다. 다만, 트러스 형태의 보강이 없는 중간말뚝은 단독으로 연직하중을 지지하는 것으로 하여야 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



**중간말뚝의 간격 4m 미만의 경우 최대 반력의 $\frac{1}{3}$, 이상의 경우 최대반력의 $\frac{1}{2}$

그림 2.3 중간말뚝의 보강 보기

작업공간 확보 등으로 중간말뚝 간격을 넓게 할 경우에는 주형 지지보의 규모를 크게 하고 중간말뚝에 작용하는 편심하중과 좌굴에 대한 검토를 하여야 한다.

중간말뚝의 허용지지력의 산정은 말뚝 재하시험을 하지 않을 경우 정역학적 공식으로 계산하며, 시항타에 의해 동역학적 공식으로 확인한다. 정역학적 공식 또한 현장 시험결과에 의한 극한지지력으로부터 허용지지력 산정시 안전계수는 2.0을 채택한다. 중간말뚝에 작용하는 연직하중이 그 허용지지력을 넘지 않도록 하여야 한다.

중간말뚝의 배치를 함에 있어 중간말뚝이 본체 구조물의 거더 등을 관통하지 않도록 가시설 계획을 수립하여야 하며 대형 지장물, 진동에 취약한 지장물은 별도의 지지말뚝 및 지지보에 의해 지지하도록 하여야 한다.

2.3 중간말뚝으로 인한 개구부 및 매몰부 검토

국내외의 중간말뚝 관련된 규정을 살펴보았으며, 우리나라 토목설계의 기본이 되고 있는 국가건설기준과 관련법령 등 국토교통부에서 정한 슬래브시스템의 개구부 설계기준과 매몰부에 대한 처리기준을 알아보고 국가건설기준 정립이전 개별 설계지침 등 관련규정을 검토하였다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

국토교통부에서 정한 도로표준시방서 도로공사 일반 사항중 시공 상세도면 작성 목록과 서울특별시에서 정한 도시철도 이론과 실무과정 검토를 통해 파일 매몰부 보강상세도와 구조물 개구부 보강 상세도와 가시설공 항목에 중간말뚝 방수처리 상세도 작성 규정과 증간말뚝 처리에 따른 슬래브 개구부의 보강기준을 살펴보았다.

OO 도시철도 사례 조사를 통해 중간말뚝이 적용사례를 조사하고 중간말뚝으로 인한 개구부와 매몰부의 보강방법에 대해서도 사례조사를 수행하고 합당한 보강방법을 제시하고자 하였다.

2.3.1 설계기준 및 시방기준 검토

외국에서(JSCE, 2018)는 터널표준시방서(standard specifiications for tunneling -2016 : cut and cover tunnels)에서 중간말뚝 제거시 기준을 보면 다음과 같다. 1) 터널구조물의 상부슬래브위에 위치한 중간말뚝은 구조물 완성 후 노면하중 및 기타하중을 안정적으로 지지하여야 합니다. 구조물에 악영향을 미치지 않도록 지정된 위치에서 절단하고 하중을 구조물에 전달하여야 합니다. 2) 하중이 전달(교체)된 후 구조물 내부에 남아있는 중간말뚝은 지정된 위치에서 절단하고 즉시 제거해야 합니다. 3) 구조물에 매입되는 중간말뚝의 절단부분은 터널의 무결성을 손상시키지 않도록 적절하게 처리되어야 합니다. 4) 주 구조물의 상부 슬래브에 하중을 전달한 중간말뚝의 제거에는 엄지말뚝 및 쉬트파일 철거 항목을 준용하도록 하고 있다.

해설을 통해 1) 중간말뚝에서 본 구조물 상부 슬래브까지의 하중전달은 표면하중이나 구조물의 영구지지 보호하중이 상부슬래브 사이의 공간에 쐐기를 설치하여 상부 슬래브에 견고하게 지지되고 넓게 분산되도록 이루어져야 한다. 절단된 중간말뚝의 하단 또는 보호용 콘크리트를 배치하여야 한다. 또한, 하중 전달로 인해 중간 말뚝이 침하되는 것을 방지하기 위해 타이로드로 일시적으로 안전하게 지지해야 합니다. 매 두 번째 중간 말뚝을 절단하고 로드를 쐐기 등을 사용하여 신속하게 이동하여 하중이 전달되는 면과 중간 말뚝 사이의 공간을 제거해야 합니다. 2) 구조물에 남아있는 중간말뚝의 절단 및 제거는 중간말뚝의 하중전달을 완료한 후 구조물 내부 작업에 지장이 없도록 실시하여야 합니다. 3) 중간말뚝의 절단부위는 구조적으로 취약하거나 방수성이 약할 수 있으며, 필요에 따라 적절한 대처 및 충분한 주의가 필요하다. 4) 중간 말뚝을 제거하기 전에 해당 말뚝이 지하 구조물의 영

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

구적 지지 보호를 위한 지지 말뚝으로 사용되지 않는지 확인해야 하도록 규정되어 있다.

국내에서는 도로설계편람(국토교통부, 2012) 7편 지하차도 시공관리 중간파일 철거에 1) 구체상판 상부의 중간파일은 구체타설 완료 후 노면하중 등을 확실하게 지지하고 구체에 악영향을 미치지 않도록 소정의 위치에서 절단하여 구조물에 지지한다. 2) 지지완료 후 구조물 내측에 존치하는 중간파일은 소정의 위치에서 절단하고 즉시 철거한다. 3) 구조물에 매입되는 중간파일의 절단부는 구체에 악영향을 미치지 않도록 적절한 조치를 강구한다. 4) 구조물 상판에 지지된 중간파일의 철거는 2.10.2(엄지말뚝 및 쉬트파일 철거)에 준하여 시공하도록 규정되어 있다.

슬래브시스템의 개구부 설계기준(국가건설기준, 2021)을 보면 구조해석에 의하여 설계강도가 소요강도 이상이고 처짐 제한을 포함하여 모든 사용성을 만족하면, 어떤 크기의 개구부도 슬래브시스템 내에 둘 수 있다. 이에 따른 해석을 하지 않는다면 보가 없는 슬래브 시스템에 개구부를 둘 수 있는 규정은 다음과 같다. 1) 양방향의 중간대가 겹치는 부분은 개구부가 없을 때의 소요 철근량을 유지한다면 어떤 크기의 개구부도 둘 수 있다. 2) 양방향의 주열대가 겹치는 부분은 어느 쪽의 경간에서나 주열대폭의 1/8 이상이 개구부에 의해 절단되지 않아야 한다. 개구부에 의해 절단된 철근량은 개구부 주변에 배치하여야 한다. 3) 주열대와 중간대가 겹치는 부분은 어느 설계대에 대해서도 개구부에 의하여 전달되는 철근이 1/4 이하여야 한다. 개구부에 의해 절단된 철근량은 개구부 주변에 추가 배치하여야 한다. 4) 슬래브의 개구부가 집중하중이나 반력의 작용면에서 슬래브 두께의 10배 이내의 거리에 위치하거나 플랫 슬래브의 개구부가 주열대 내에 위치하는 경우. 그리고 전단에 대한 위험단면은 전단머리가 없는 슬래브의 경우, 기둥 또는 집중하중이나 반력이 작용하는 면의 중심과 개구부의 경계점 사이로 그은 직선 내에 있는 단면의 둘레부분은 유효하지 않은 것으로 한다. 전단머리가 있는 슬래브의 경우, 유효하지 않은 둘레부분은 상기 위에서 정의된 부분의 절반으로 보고 수정한다. 5) 개구부 크기가 슬래브 판 크기에 비해 상대적으로 작은 경우 개구부에 의해 전달되는 철근과 같은 단면적의 철근을 개구부 양쪽에 보강한다. 개구부가 슬래브 관 크기에 비해 상대적으로 큰 경우 각 모서리에 캔틸레버 슬래브로 가정하여 설계할 수 있다. 인접 슬래브를 설계할 때는 개구부의 영향을 고려하여야 한다. 개구부가 크고 한쪽으로 치우쳐서 위치한 경우 3번 연속이고 1변 자유인 슬래브로 취급할 수 있으며, 인접 슬래브를 설계할 때는 개구부의 영향을 고려하도록 규정되어 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

도로암거구조설계기준(국가건설기준, 2021)에는 “암거 구조물에 개구부를 설치할 필요가 있을 경우 슬래브나 벽체의 강도가 저하되지 않도록 개구부 주위에 보를 설치하거나 보강철근을 배근하여 사인장 균열이 발생하지 않도록 한다”라고 규정되어 있다.

엔지니어링 사업대가의 기준(산업통산자원부, 2021)을 보면 시공 상세도는 공사시방서에서 건설공사의 진행단계별로 작성하도록 명시된 시공 상세도면의 작성 목록에 따라 작성하도록 규정되어 있다. 시공 상세도면의 수량은 현장여건에 따라 확정되므로 사전에 작성될 도면의 예정수량을 정한다. 현장 시공시 시공 상세도면의 작성 목록에 따라 작성한 후 당초 예정수량보다 실제 작성된 수량에 증감이 있는 경우 발주청의 승인을 받은 수량에 따라 사후에 정산하도록 규정되어 있다.

시공상세도 관련 표준시방서(국가건설기준, 2022) 도로공사 일반사항을 보면 수급인(하수급인, 자재나 제품제조자를 포함)는 설계도서 및 현장조건과의 적합성 여부를 확인하여 공사 수행상의 잘못 또는 부분공사의 누락을 예방하고, 타 공사 수급인·납품자·관련 기관 및 주변에 거주하는 주민과의 마찰로 인한 공사의 지연을 예방하기 위하여 시공 상세도면을 작성 하도록 규정되어 있다.

수급인은 작성한 시공 상세도면에 대하여 작성자의 실명을 기입하고 서명 또는 날인을 하여 공사감독자의 확인을 받은 후에 공사해야한다. 수급인은 건설공사 시공상세도 작성지침에 의거한 시공 상세도를 작성하여 제출하고 시공 상세도가 변경된 때에는 변경 시공 상세도를 작성하여 기술자의 확인을 받도록 규정되어 있다.

작성방법을 보면 시공 상세도는 다음 조건을 따라야 작성해야 한다. 1) 건설공사 시공 상세도 작성지침에 제시된 시공 상세도의 구성 및 작성의 일반원칙에 준하여 작성한다. 2) 주요 작업부위에 대하여 공사수행을 하기에 적합한 축척으로 작성한다. 3) 정확한 치수 및 축척이 명시되어야 한다. 4) 현장에서 시공 또는 구입 가능한 크기, 길이의 자재를 사용한다. 5) 시공 상세도에는 조립도, 설치도면, 기타 시공방법을 나타내는 표와 그림을 모두 포함한다. 6) 시방서의 요구사항이 종합적으로 반영되도록 작성하여야 하며, 부위별 재료명과 시공 또는 설치 및 마감상태를 명확히 표기하여야 한다. 7) 설계도면에 제시되지 않는 내용 중에서 필요한 부분은 본 지침에 제시한 작성목록에 준하여 시공상세도를 작성한다. 8) 건설공사의 진행단계별로 작성하는 시공 상세도는 이 기준의 아래기준을 참고로 하여 작성하도록 하고 있다.

시공 상세도면을 제출하여야 하는 대상 및 그것에 포함하여야할 내용은 건설공사

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

시공상세도 작성지침 및 KCS 44 00 00의 각 코드에 따르도록 한다. 시공 상세도면 작성목록을 살펴보면 표 2.6 구조물공 공통사항에 파일매몰부 보강상세도와 구조물 개구부 보강에 대한 부분과 표 2.7 가시설공 중간말뚝 방수처리와 H-파일 개구부 마감에 대한 시공상세도 제출항목이 규정되어 있다.

표 2.6 구조물공 공통사항

공종	세부사항	난이도
구조물공 공통사항	일반 구조물 ① 단면변화부 ② 파일 매몰부 보강상세도 ③ 구조물 개구부 보강 (후속공정을 고려한 개구부 위치) ④ 콘크리트 타설이음 (시공이음) ⑤ 콘크리트 타설계획서 (콘크리트 타설순서도 포함) ⑥ 강연선 인장장비 배치, 순서, 방법 ⑦ 콘크리트투입구 위치, 수량, 규격 ⑧ 지수판 상세도 ⑨ 신축이음 및 기타 상세도 ⑩ 차수벽 상세도 ⑪ 어도블럭 상세도	복잡

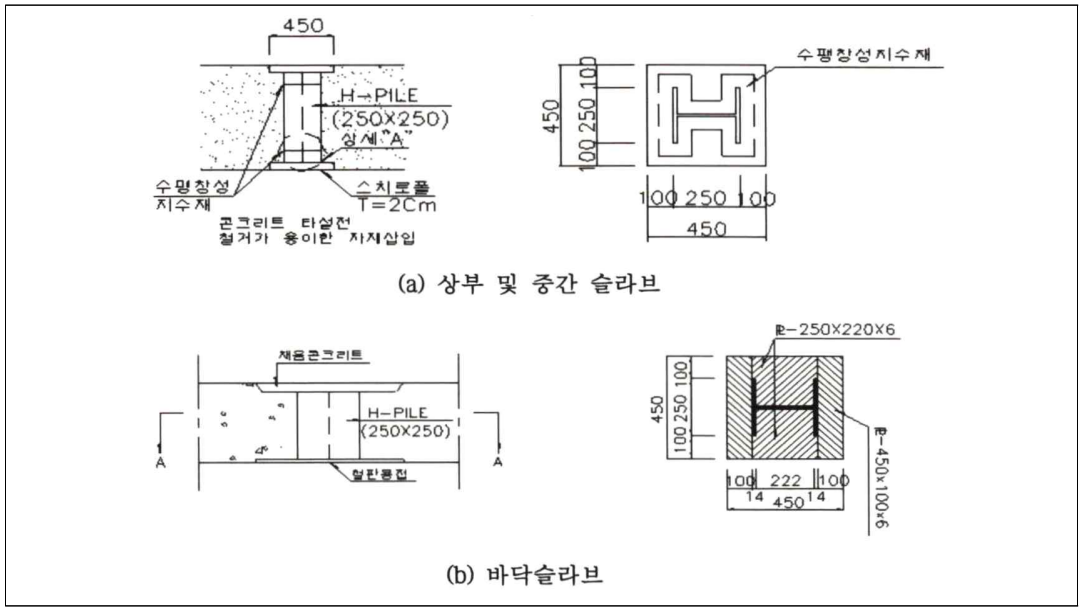
조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

표 2.7 가시설공

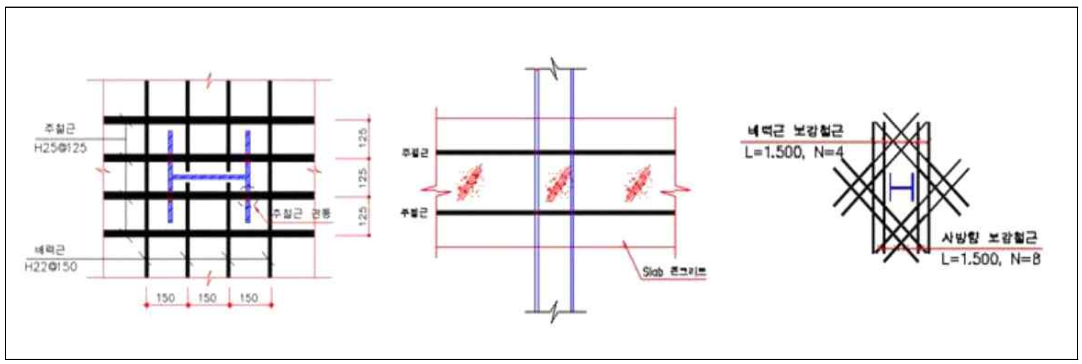
공종	세부사항	난이도
가시설공	가. 흙막이 가시설공 ① H-Pile, Sheet-Pile : 위치별 규격 및 근입길이, 간격, 이음부 연결상세, 횡토압 지지방법 (H-Pile 또는 어스앵커 사용 등) ② 흙막이 공법 표기 ③ 토류판 : 재질, 폭, 두께, 길이 ④ 어스앵커 : 근입길이, 종, 횡방향 간격, 정착 헤드 크기 및 방법, 그라우팅 제원 및 상세, 인장상세도 ⑤ 형태별 단면도 ⑥ 가시설 상세도, 수직 피스 제작, 코너 피스 제작도 - 주형보 받침 및 연결 - 보강재(stiffener) 설치 - 띠장 우각부 연결 - 띠장 연결 - 파일 연결 - 버팀보 보강용 브레이싱 - 중간말뚝 보강용 브레이싱 및 ㄷ형강 설치 - 주형보 브레이싱 - 피스 브라켓 제작 - 토류용 앵글설치 - 버팀보 제작 - 띠장 설치 - 잭(Jack) 설치 - 수직 피스제작 - 제작 복공 설치도 - 장비통로 및 작업구 버팀보 보강 - 작업구 안전 울타리 - 주형보 X-Bracing - 보조파일 - 사보강재 - 화타쐐기 - 중간말뚝 방수처리 - H-파일 개구부 마감 - 보걸이 - 진입부 상세 - U볼트 - 작업계단 및 점검통로 - 버팀보 연결	복잡

도시철도 이론과 실무(서울특별시, 2019) 중간말뚝 처리에 따른 슬래브의 개구부 보강 중간말뚝 처리에 따른 개구부 보강기준은 다음과 같다. 1)가시설 구조물의 중간말뚝의 처리는 말뚝 매몰의 경우와 말뚝 인발의 경우가 있으며, 어떠한 경우에도 주철근 절단에 의한 구조적 결함이 되거나 방수결함이 되지 않게 하도록 한다. 2)중간말뚝을 매설 타설 후 마감 처리할 경우를 그림 2.4와 같이 예시로 표시하고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a)말뚝을 절단하는 경우 단면도



(b)말뚝을 절단하는 경우 보강상세도

그림 2.4 중간말뚝을 매설 타설 후 마감처리 할 경우

중간말뚝 설치로 인해 지하철 구조물 슬래브의 개구부 발생으로 인한 균열 및 누수 발생을 최소화하고 내구성을 높이기 위한 개구부 보강이 필요하다. 매몰부 중간말뚝 제거로 인한 보조말뚝의 설치로 슬래브에 수직하중이 전달되어 개구부 응력집중이 발생하므로 응력집중을 막기 위한 적절한 단면검토가 필요하다. 중간말뚝 부위를 개구처리하고 마감할 경우(말뚝을 인발하는 경우) 그림 2.5, 그림 2.6 그림 2.7과 같이 예시로 표시하고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

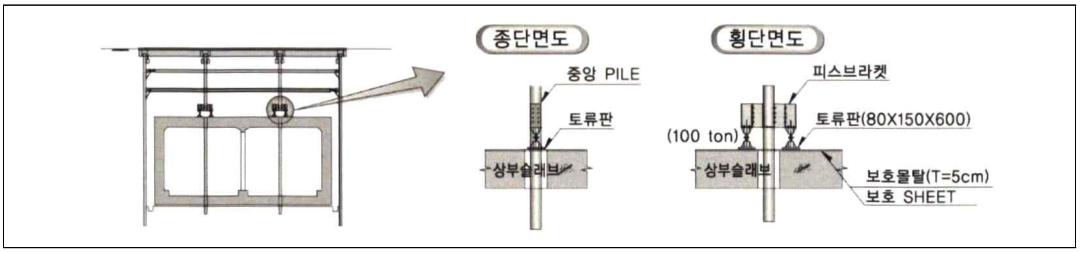


그림 2.5 보조pile 시공 상세도

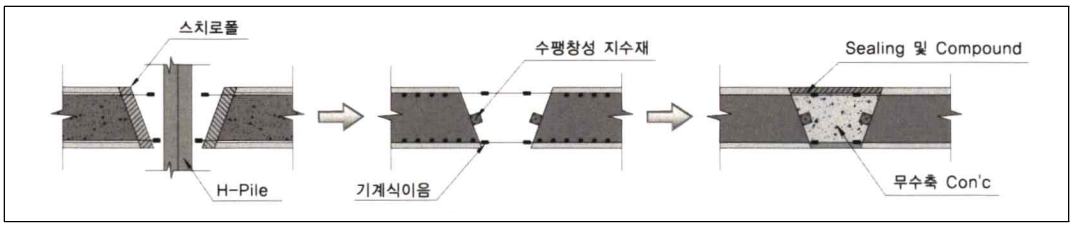


그림 2.6 슬래브의 H-pile을 제거한 부분 처리 상세도

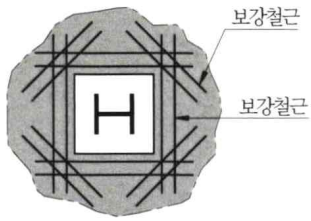
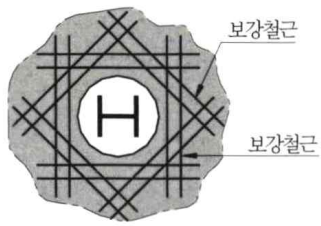
각형	원형
	
개구부에 의해 감소된 철근량은 개구부 주변에 추가 배치하여야 한다.	

그림 2.7 개구부 형상에 따른 보강방법 예시도

개구부가 있는 철근콘크리트 슬래브의 응력분포(이미화, 2001)를 보면 2변고정 2변 자유 장방향 슬래브의 경우를 통해 개구부를 설치할 경우 슬래브의 중앙에 설치할 때 처짐이 감소했으며 그 밖의 경우에는 개구부의 위치에 관계없이 개구부가 없는 경우보다 처짐이 증가하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

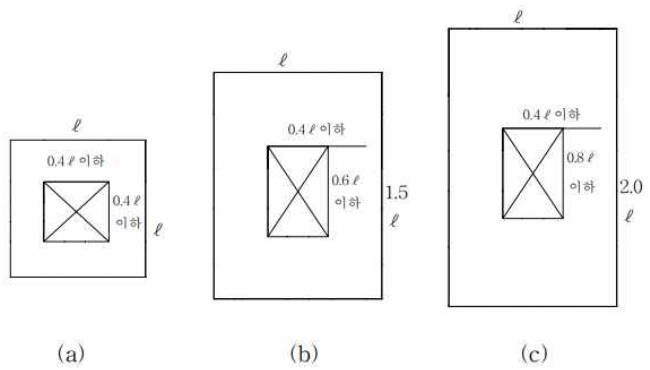


그림 2.8 2변 고정 2변 자유슬래브의 개구부 설치(이미화, 2001)

개구부의 크기와 관련해서는 그림 2.8과 같이 슬래브의 변장비와 개구부의 크기에 관계없이 슬래브의 중앙에 설치될 때 모멘트의 증가량이 적었다. 개구부를 슬래브의 변부에 설치할 때는 모멘트의 증가량이 많았다. 개구부의 방향은 개구부의 크기가 동일할 때 슬래브의 장변 방향과 직교 방향으로 설치하는 것이 유리하였으며 개구부를 슬래브의 단변부에 설치할 때는 슬래브의 장변 방향과 동일한 방향으로 설치하는 것이 유리하다.

철근 배근과 관련하여 개구부가 있는 철근콘크리트 슬래브의 응력분포에 관한 연구(이미화, 2001)를 통해 500mm이하의 개구부인 경우 개구부를 지나는 철근을 단순히 개구부 주위로 이동시키는 방법과 개구부를 지나는 철근을 절단하고 주위를 보강근으로 보강하는 방법 중 하나를 선택하여 보강하는 방법을 제시하였다. 개구부의 크기가 슬래브판 크기에 비해 작을 경우 개구부에 의해 절단되는 철근과 같은 단면적의 철근을 개구부 양쪽에 보강하고 개구부가 크고 한쪽으로 치우쳐서 위치한 경우에는 3변 고정이고 1변이 자유인 슬래브로 취급할 수 있는 것으로 되어있다.

여러 자료를 종합할 때 개구부의 크기가 기본배근 간격 이하이면 보강근을 생략하고 철근을 약간 이동시키거나 굽혀서 철근을 배근하는 것이 유리하다. 개구부의 크기가 기본 철근 배근 이상이 되는 경우에는 슬래브근을 휘어서 배근하지 못하게 되므로 절단되는 철근과 같은 량의 철근 또는 D13 이상의 철근으로 둘레를 보강하는 방법을 제시한다. 하지만 슬래브의 두께가 120mm이하의 경우는 D13 이상을 개구부 주변의 가로 및 세로 보강근으로 사용하면 콘크리트 타설시 시공상의 어려움이 발생하므로 철근 간격을 취하기 어렵다. 따라서 이러한 경우 보강철근은 상하 동

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위치가 아닌 지그재그로 배치하는 것이 바람직하다. 또한 특별히 0.5m~1m범위에 2개 이상의 개구부가 있거나 큰 개구부의 모서리에는 균열을 감안하여 각 모서리에 사방향 철근을 배근토록 한다. 지하구조물의 경우 2변 고정 2변 자유슬래브의 형식을 취하고 있고 개구부 또한 500mm 이하여서 개구부의 보강방법에는 문제가 없다.

비탄성 지반스프링 상수를 고려한 지하구조물의 해석(오치웅 2000)을 통해 부재력과 지반상수의 관계를 보면 구현된 모델링을 이용하여 부재력과 지반상수와의 관계를 분석한 결과를 보면 N값과 변위의 관계를 탄소성 스프링 해석을 사용하고 요소는 8절점과 Mohr- Columb 파괴기준의 탄소성 해석하였다. 결과에 의하면 N값과 변위의 관계를 살펴보면 모든 위치에서 N값이 증가함에 따라 변위는 양의 기울기를 가지면서 기울기가 감소함을 알 수 있다. 이러한 관계를 정리하여 도시하면 그림 2.9와 그림 2.10과 같이 몇 가지의 특성을 나타냈다.

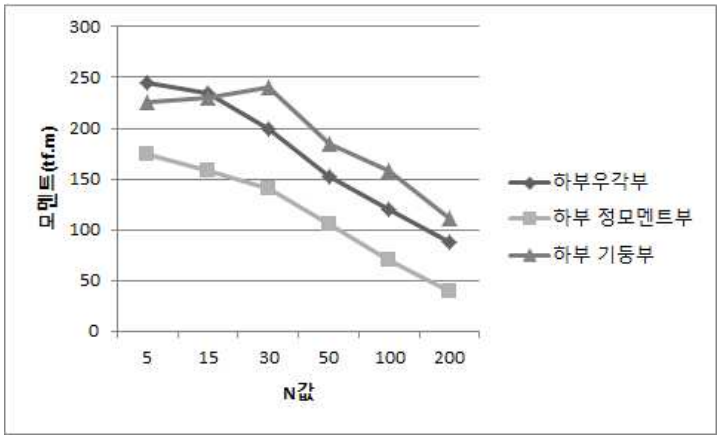


그림 2.9 Ko = 0인 경우 모멘트변화(오치웅, 2000)

첫째, 인장스프링을 제거하는 해석에서 N값이 30 이하인 경우, 즉 매립토, 충적토, 풍화토 등 연약한 토사 및 점토지반으로서 지반 강성이 약하여 상대적으로 작은 하중에도 하향 연직변위가 발생하여 인장스프링이 발생하지 않은 것으로 판단된다. 또한 N값이 50 이상인 경우에는 최종 단계에서 탄소성 스프링 해석결과와 일치함을 알 수 있다. 이러한 결과는 초기 탄성스프링 해석시 지반의 상대적 강성이 커 하중이 일정 부분 지반으로 전달되어 부재력이 작아지는 것으로 판단된다. 이것은 참고문헌 “지반공학에 대한 유한요소 해석”의 인장에 저항하지 않는 재료에 대한 해석법의 결과와 잘 일치한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

둘째, N값의 변화에 따른 하부슬래브 모멘트 변화는 N값이 증가함에 따라 부재력은 음의 기울기를 가지면서 감소하는 경향을 보이고 있다.

셋째, 측압계수의 영향을 가장 많이 받는 하부 우각부의 8절점 Mohr-Columb 파괴기준의 탄소성 해석과 탄소성 스프링 해석의 Ko에 따른 모멘트 변화를 보면 대체적으로 N=30 이하인 경우 충적토, 매립토, 풍화토 모두 Ko가 0일 때 탄소성 스프링해석과 8절점 평면요소 해석의 결과가 유사함을 알 수 있다. N=50 이상인 경우 암반의 종류에 따라 풍화암은 Ko가 0. 7일 때, 연암은 Ko가 1.3일 때, 경암은 Ko가 2.0 이상일 때에 탄소성 스프링해석과 8절점 평면요소 해석의 결과가 유사함을 알 수 있다.

넷째, 탄소성 스프링 해석시 및 8절점 Mohr-Columb 파괴기준의 탄소성 해석시 모두 N값과 변위의 관계를 살펴보면 모든 위치에서 N값이 증가함에 따라 변위는 양의 기울기를 가지면서 N값이 30일 때부터 기울기가 완만하게 감소함을 알 수 있다.

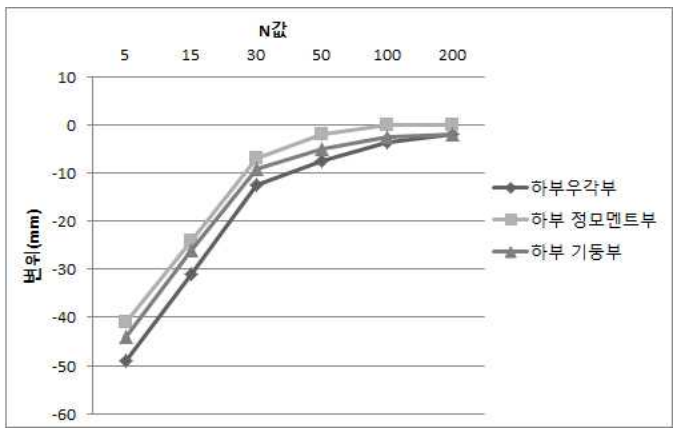


그림 2.10 평면요소 탄소성해석시 N값과 변위관계(Ko = 0) (오치웅, 2000)

2.3.2 OO 도시철도 본선구간 개구부 및 매몰부 반영현황

OO 본선구간의 중간말뚝 처리과정을 보면 지하구조물은 상판슬래브 개구부에 대한 보강은 그림 2.11, 그림 2.12와 같다. 중간말뚝 제거 후 사인장 철근을 L=1,000mm, 각 모서리별 3ea씩 12ea를 배치하여 보강하고 단절된 철근은 동일한 규격의 철근을 용접을 통해 연결하고 별도의 보강철근은 두지 않고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

매몰부에 대한 보강을 실시함에 있어 사인장 철근은 그림 2.13에서 보는 바와 같이 L=1,000mm, 각 모서리별 3ea씩 12ea를 배치하여 보강하고 있고 중간말뚝으로 인해 단절된 철근은 단절된 부위를 중간말뚝을 제거하지 않은 상태에서 Pile에 직접 용접하여 연결 처리하고 있으며 별도의 보강철근은 두지 않고 있음을 확인할 수 있다.

지하구조물 개구부 및 매몰부위의 중간말뚝을 처리함에 있어 현장여건 및 토질조건에 관계없이 전 구간에 위와 같은 방법을 적용하여 일률적으로 적용 보강하고 있음을 확인할 수 있었다.

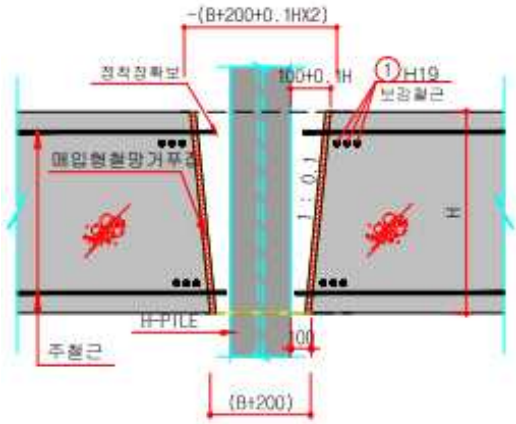
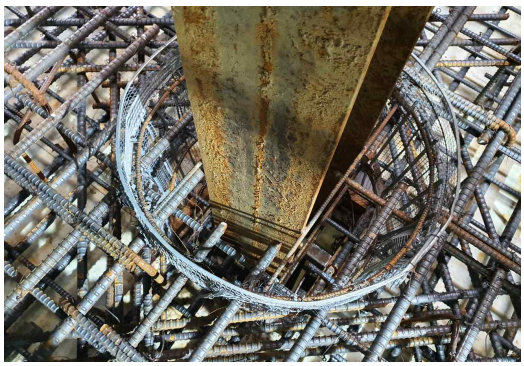
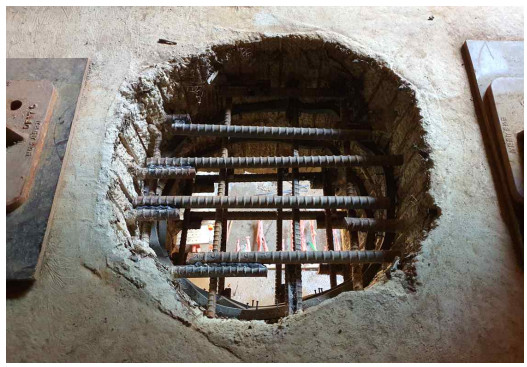


그림 2.11 개구부 보강 상세도



(a) 중간말뚝 제거 전



(b) 중간말뚝 제거 후

그림 2.12 개구부 보강 현장사례

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

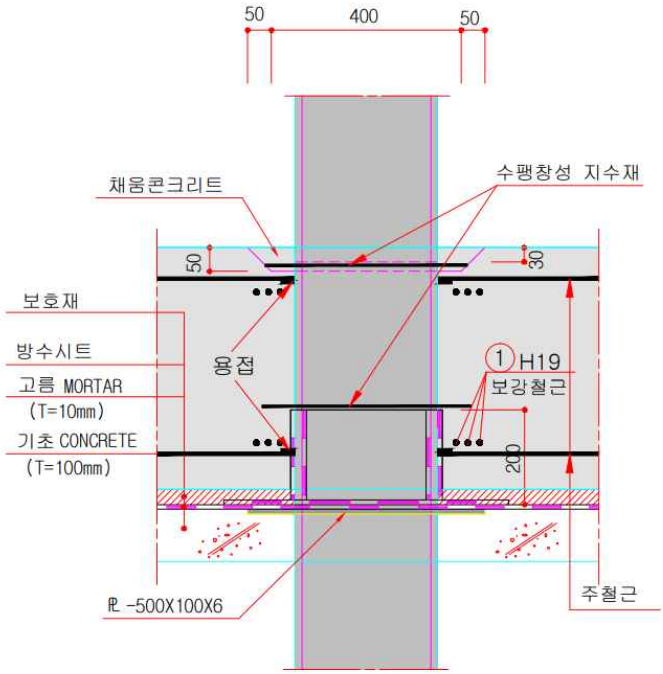


그림 2.13 매몰부 보강 상세도

(a) 중간말뚝 제거 전 (b) 중간말뚝 제거 후

그림 2.14 매몰부 보강 현장사례

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.3.3. 지하철 정거장 등 개착구간 바닥콘크리트 시공현황

지하철 정거장 등 개착구간 바닥콘크리트 시공현황(김종호, 2020)을 보면 중간말뚝 매몰부 보강철근(L=3.5m, 32EA)의 과밀배근으로 인해 콘크리트 충전성과 품질이 저하되었다. 또한, 철근 설치공간 부족으로 시공성이 저하되고 공사비가 과다 발생되고 있다. 중간말뚝 간격이 협소할 경우(3m 이내) 인접 중간말뚝 매몰부 보강철근과 중첩 시공되어 시공성이 저하되고 철근 과밀배근으로 콘크리트 충전성과 품질이 저하되는 문제점이 발생된다. 중간말뚝 매몰부에 대한 현재 보편적으로 설치하는 방법을 살펴보면 그림 2.15와 같다.

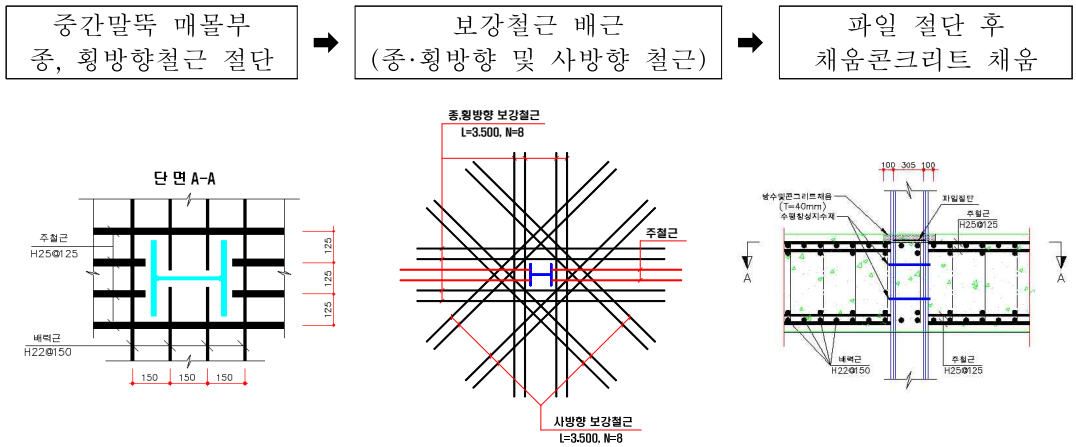


그림 2.15 매몰부 현행 설치

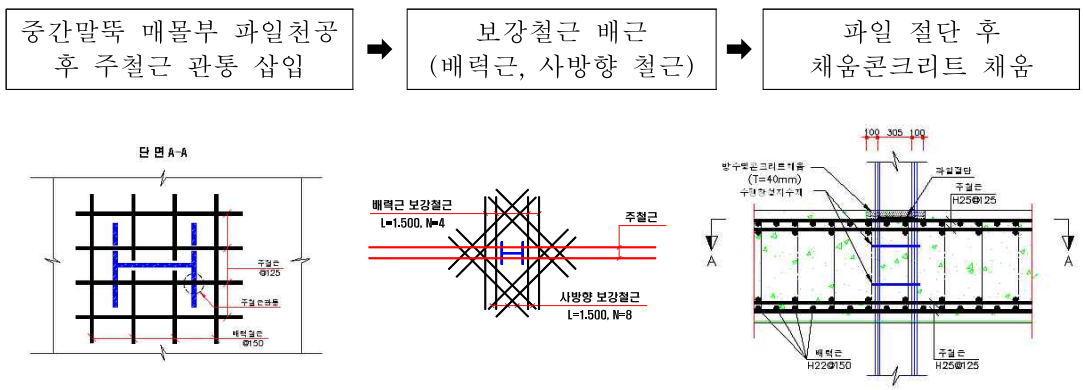


그림 2.16 매몰부 개선 설치

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(a) 1단계(주철근 관통위치 측량)

(b) 2단계(마그네틱드릴에 의한 천공)

(c) 3단계(기계천공 후 정리)

(d) 4단계(주철근 삽입 및 보강철근 배근)

그림 2.17 매몰부 개선설치 시공순서도

현행 설치에 따른 문제점을 개선하기 위해 그림 2.16과 같이 매몰부의 중간말뚝인 H형강에 주철근을 관통하는 방법으로 개선 설치하여 보강철근량 감소에 의한 예산절감 효과를 가졌다. 그림 2.17과 같이 보강철근 감소로 인한 작업의 효율성(시공성) 및 품질이 증진되고 천공장비(마그네틱 드릴)에 의한 주철근 위치의 정밀한 천공으로 단면손실 감소와 함께 주철근이 절단되지 않고 최소한의 보강철근만 관통 삽입함으로서 시공성 향상 및 구조물의 구조적 안정성이 증대되었다. 이러한 시공방법은 예산절감 효과가 기대됨으로 지하철 공사현장에 확대 적용을 제시하였으나 중간말뚝으로 인한 매몰부위에 대한 구조검토는 제시되지 않고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 장 중간말뚝이 구조물 매몰부에 미치는 영향분석

3.1 일반사항

본 연구에서는 중간말뚝이 단단한 지반층에 고정되어 지지말뚝으로 사용되고 있다는 가정하에 구조물 슬래브에 미치는 영향을 분석하였다. 국가건설기준(2022)에 의한 중간말뚝이 콘크리트에 매립되어 하나의 구조물로서 콘트리트 구조물의 설계는 강도설계법을 원칙으로 하고 있다. 강도설계법을 적용함에 있어 해석모델은 라멘구조의 박스 단면을 가진 지하구조물로서 제반 조건값을 정할 때에는 시추자료, 토질 시험값 등과 같이 지반자료 조사의 분석과 경험을 종합적으로 고려한 값을 사용하여야 하나 너무 많은 조건과 변수가 많아 보편적이고 일반적인 기준값을 적용하였다.

본 구조물은 BOX형식의 종방향으로 동일한 패턴이 반복 지속되는 구조물로 평면해석이 가능하기 때문에 지점의 경계조건은 기초지반의 종류에 관계없이 저판의 모든 부위에 지반반력계수와 설치하였다. 지반반력계수 설치 간격으로부터 환산된 스프링을 Elem 간격 1.0m로 한 모델로 부력에 의하여 스프링이 인장이 발생할 경우 인장을 받는 인장을 받는 스프링을 차례로 제외시켜 최종적으로 압축을 받는 스프링만 남겨둔 상태로 해석을 진행하게 된다.

구조해석용 프로그램인 MIDAS CIVIL을 이용하여 2차원 보요소를 사용하여 단면력 분석을 수행하였고 중간말뚝이 지지력 확보를 위해 단단한 지반층에 관입되는 것을 고려하였다. 중간말뚝이 단단한 지지층에 있고 중앙에 위치하는 것으로 보아 각 CASE별 구조해석을 위한 조건을 부여하여 해석을 수행하였다.

3.2 구조해석 모델링

3.2.1 해석프로그램

구조해석용 프로그램인 MIDAS CIVIL은 컴퓨터의 급속한 발전과 함께 건설분야에도 복잡하고 다양한 토목구조물의 해석에 적용되고 있다. 특수교량 등 복잡한 대형 구조물뿐만 아니라 구조물과 지반, 유체가 상호 복합적으로 나타내는 복잡한 구조공학적 문제도 범용 프로그램을 적용하여 복잡한 수치해석 결과를 확인할 수 있다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

MIDAS CIVIL은 유한요소법을 이용한 프로그램으로 프레임요소, 플레이요소, 솔리드요소를 사용하여 구조물을 모델링한다. 직관적인 User interface 환경과 컴퓨터 그래픽 기술이 적용된 토목분야 범용 유한요소 구조해석 프로그램으로 동적해석, 비선형해석, 시공단계해석 등 범용 구조해석 알고리즘은 물론 PSC교, 현수고, 사장교, 이동하중해석, 수화열해석 및 설계 기능을 통합적으로 제공한다.

프로그램을 이용한 해석 종류로는 수화열 해석, 대변위 해석, PSC 교량설계 통합솔루션, 동적경계 비선형해석, Pushover 해석, 재료 비선형해석, 비탄성 시간이력해석, 케이블 교량 해석, 파일하중 해석, 장대레일 철도교 상세해석, 내하력 평가, 내진성능평가 및 설계 등이 있다.

3.2.2 구조해석을 위한 설정조건

구조물에 걸리는 단면력 계산을 위해 라멘구조의 박스단면을 가정하여 폭원별 설정값을 상부와 벽체 슬래브 두께를 각각 1,200mm, 하부슬래브 두께는 1,500mm로 하고, 구조물 높이를 4,300mm로 고정하였다. 하부 슬래브 구조물 저판에 미치는 영향을 분석하기 위해 표 3.1과 그림 3.1와 에서 보는 바와 같이 구조물 저판폭을 2차로, 4차로, 6차로일 경우를 감안하여 벽체와 벽체간 중심간 거리 10m, 16m, 20m로 설정하였다. 토피고(H)는 현장여건에 따라 토피고가 변하는 것을 감안하여 개착굴착이 가능한 깊이까지 5m 단위로 하여 5m, 10m, 15m, 20m를 설정하였다.

구조물 폭원이 10m 이하인 조건에서는 상부하중 및 토질조건에 따라 슬래브 두께가 변하게 되므로 토피고 5m와 슬래브 폭원을 10m로 고정한 상태에서 슬래브 두께 t를 0.2m 단위로 하여 0.4m, 0.6m, 0.8m, 1.0m, 1.2m를 설정하였다.

표 3.1 구조물 설정 규격

구분	저판폭적용 B(m)	구조물규격(m)		슬래브규격 t(m)			토피고 H(m)
		b	h	상부	하부	벽체	
두께별	10	8.8	4.3	0.4	0.4	0.4	5
				0.6	0.6	0.6	
				0.8	0.8	0.8	
				1.0	1.0	1.0	
				1.2	1.2	1.2	
폭원별	10	8.8	4.3	1.2	1.5	1.2	5
	16	14.8	4.3	1.2	1.5	1.2	10
	20	18.8	4.3	1.2	1.5	1.2	15 20

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

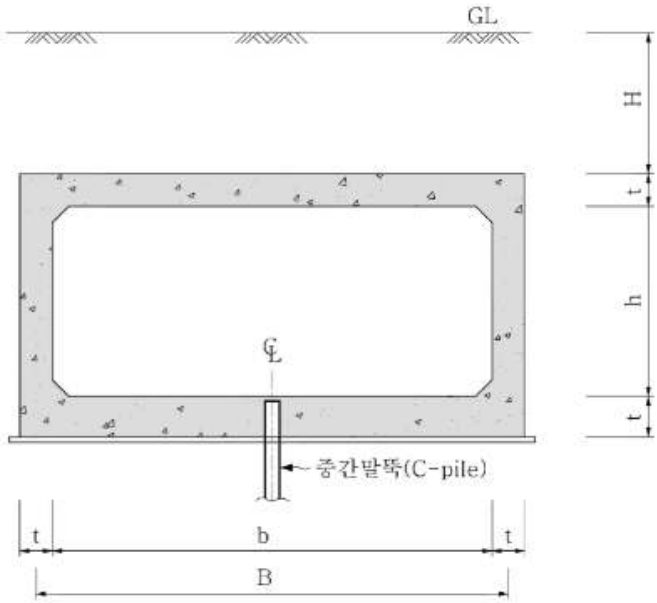


그림 3.1 구조물 설정 단면도

3.2.3 구조해석 입력값 조건

구조해석을 수행하기 위해 표 3.2 구조해석 입력 조건값을 설정하였다. 흙의 단위중량은 시추자료, 토질 시험값 등과 같이 지반자료 조사의 분석과 경험을 종합적으로 고려한 값을 사용하여야 하나, 너무 많은 조건과 변수가 많아 일반적인 토사 기준을 적용하였으며, 철근콘크리트(γ_c) = 24.52kN/m^3, 토사(습윤)(γ_{sub}) = 20.00kN/m^3, 토사(건조)(γ_t) = 10.19kN/m^3, 지하수(γ_w) = 9.81kN/m^{3}을 적용하였다.

재료의 특성은 설계강도 및 재료에서 지하부 구조물의 기준을 적용하였으며, 콘크리트 설계기준 강도(f_{ck}) = 27 MPa, 콘크리트 탄성계수(Ec) = 24,645 MPa을 적용하였다

설계하중 및 하중조합에서 구조물 상부 하중 값에 의한 수평토압을 계산하기 위해 상부의 토질조건은 표 3.6과 같이 내부마찰각과 N치와의 관계에서 N값이 10~30일 때 보통의 상태를 가정하여 흙의 내부마찰각(Φ) = 33.0°, 정지토압계수 (Ko = 1 - sinΦ) = 0.455을 적용하였다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

표 3.2 구조해석 입력조건

구분		입력 조건값
단위중량	철근콘크리트 (γ_c)	24.52 kN/m^3
	토사(습윤)(γ_{sub})	20.00 kN/m^3
	토사(건조)(γ_t)	10.19 kN/m^3
	지하수(γ_w)	9.81 kN/m^3
재료조건	콘크리트 기준강도(f_{ck})	27 MPa
	콘크리트 탄성계수(Ec)	24,645 MPa
토사조건	흙의 내부마찰각(Φ)	33.0°
	정지 토압 계수(Ko = 1 - sinΦ)	0.455

해석 CASE별 구조물에 적용될 하중조합은 표 3.3과 같이 구조물 자중(D)부터 활하중 (L)에 의한 토압(EP)까지 계산되도록 하였다.

표 3.3 하중조합

하중종류	하중조합
Dead Load (D)	구조물 자중
Vertical Earth Pressure (EV)	상재토압, 방수몰탈, 포장 하중(지하수위 고려)
Horizontal Earth Pressure (EH)	고정하중에 의한 수평토압(지하수위 고려)
Ground Water Pressure (WP)	상부슬래브 수압
Buoyancy (B)	하부슬래브 수압
Live Load (L)	활하중
Earth Pressure (EP)	활하중에 의한 토압

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

구조물 하부 지반반력을 구하기 위한 지반 종류에 따른 N치 값은 현장 조사와 표준관입시험을 통해 정하여야 하나 본 연구는 다음 조건을 기준으로 설정하였다. 1)암거 구조해석에서 적절한 지반스프링 간격에 관한 연구(이동은, 2019), 2)국도건설공사 설계실무요령(국토교통부, 2016)에 기술된 표 3.4의 지반의 분류, 3)토질지반조사 및 응용(고재만, 1993)에서 제시한 표 3.5의 점질토의 연경도에 따른 일축압축강도와 N치와의 관계, 그리고 4)표 3.6에서 사질토의 상대밀도에 따른 내부 마찰각과 N치와의 관계를 참고하였다. 그 결과 매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반일 때의 N값 50을 최대치로 적용하고 최소값을 10으로 하여 N값 10, 20, 30, 40, 50을 설정 적용하였다.

표 3.4 지반의 종류

지반 종류	지반 계수	지반종류의호칭	지표면아래 30m 토층에 대한 평균값		
			전단파속도 (m/s)	표준관입시험 (N치)	비배수전단강도 (kPa)
Ⅰ	1.0	경암지반, 보통암지반	760이상	-	-
Ⅱ	1.2	매우조밀한 토사지반 또는 연암지반	360에서 760	〉 50	〉 100
Ⅲ	1.5	단단한토사지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
Ⅳ	2.0	연약한토사지반	108미만	〈 15	〈 50
Ⅴ	-	부지 고유의 특성평가에 요구되는 지반			

표 3.5 일축압축 강도와 N치와의 관계

연경도구분	매우연약함 (Very Soft)	연약함 (Soft)	보통 (Medium)	견고함 (Stiff)	매우견고함 (Very Stiff)	고결 (Hard)
N값	0-2	2-4	4-8	8-15	15-30	30이상
qu(kg/cm2)	0.25이하	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0이상
C(t/m2)	1.2이하	1.2-2.5	2.5-5.0	5.0-10	10-20	20이상
Y(t/m2)			1.70-2.00			

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

표 3.6 내부마찰각과 N치와의 관계

N값	상대밀도(Relative Density)		내부마찰각ø(deg)	
			peck에 의함	Meyerhof에 의함
0-4	매우느슨함(Very Loose)	0.0-0.2	28.5이하	30이하
4-10	느슨함(Loose)	0.2-0.4	28.5-30	30-35
10-30	보통(Medium)	0.4-0.6	30-36	35-40
30-50	조밀함(Dense)	0.6-0.8	36-41	40-45
50이상	매우조밀함(Very Dense)	0.8-1.0	41이상	45이상

구조물 하부에 작용하는 연직방향 지반반력계수(Kv)은 중간말뚝이 없다는 가정하에 앞서 제시한 식(2.4)와 표 2.3의 표준관입시험의 N값, 즉 2,800N을 이용하여 지반반력계수 계산하고, 표 3.7에 보여주고 있다.

$$K_v = K_{vo}(B_v/0.3)^{-3/4} \quad (2.4)$$

여기서, K_v : 연직방향 지반반력계수(kN/m^3)

$K_{vo} = \frac{1}{0.3}\alpha E_o$

B_v : 기초의 환산재하폭(m)으로 구조물 저판의 지간을 적용

표 3.7 N값과 구조물 폭원에 따른 지반반력계수(Kv)

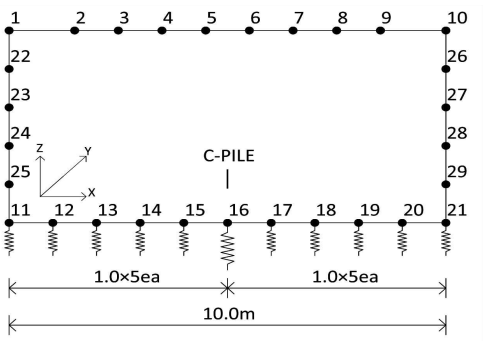
구분	폭원 10.0m	폭원 16.0m	폭원 20.0m	비고
N(10)	6447.940	5489.775	5075.768	
N(20)	12895.879	10979.550	10151.536	
N(30)	19343.819	16469.325	15227.304	
N(40)	25791.758	21959.100	20303.072	
N(50)	32239.698	27448.875	25378.840	

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

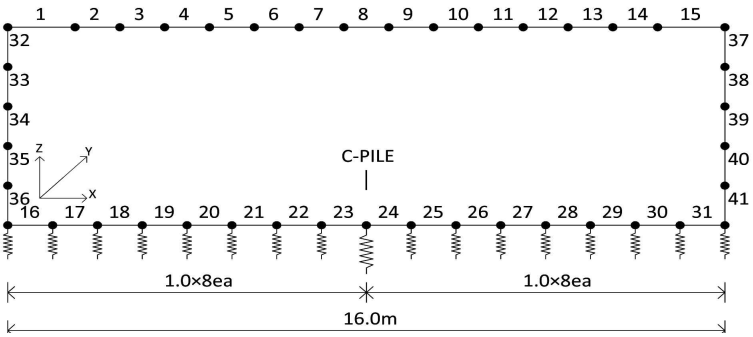
3.2.4 구조물 단면력 해석조건

중간말뚝의 강성을 지점으로 고려할 경우와 고려하지 않을 경우에 대한 개착식 지하구조물을 설치할 수 있는 상재토피(H)와 표준관입 시험치에 따라 해석 CASE별로 조건을 설정하였다. 이때 상재토피(H)는 5m, 10m, 15m, 20m로 가정하고, 상부 토질조건과는 별개로 구조물 하부 지반반력을 계산하기 위한 표준관입 시험치는 풍화암층 기준값인 N=50을 최대값으로 10단위(N= 10, 20, 30, 40, 50)로 하여 정하였다.

지하구조물의 폭원은 벽체 중심간 거리를 적용한 저판폭원(B = 10m, 16m, 20m)에 따라 구조물에 미치는 단면력과 슬래브 두께별(T = 0.4m, 0.6m, 0.8m, 1.0m, 1.2m) 단면력을 계산하였다. 특히 하부슬래브의 모멘트와 전단력을 중간말뚝을 존치할 경우 가장 불리한 경우를 가정하여 구조물 저판 중앙부를 연직지지 지점으로 모델링하여 해석을 진행하였으며 구조물 폭원별 절점 및 상시 경계조건은 그림 3.2 폭원별 현황과 같다.

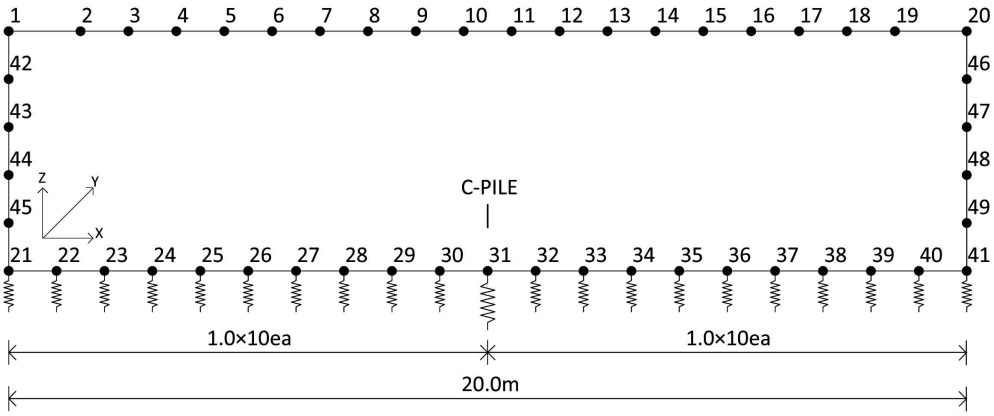


(a) 구조물 폭원 B=10일 때



(b) 구조물 폭원 B=16일 때

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(c) 구조물 폭원 B=20일 때

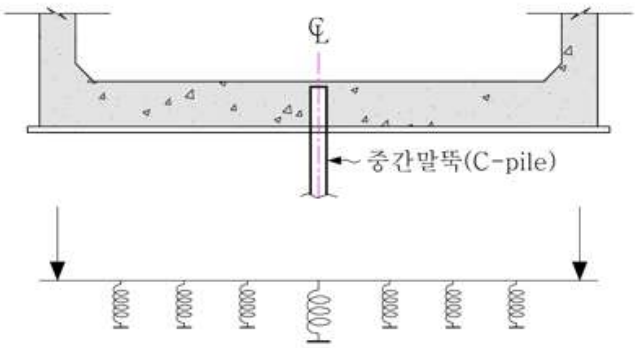
그림 3.2 폭원별 절점 및 상시 경계조건

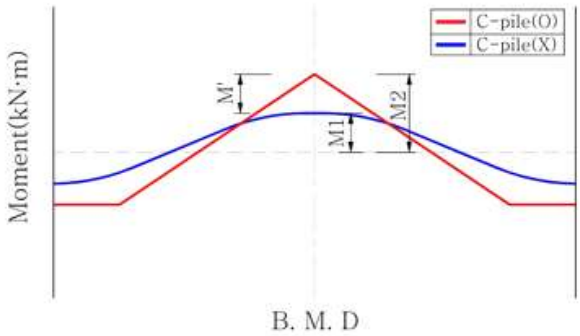
중간말뚝의 존치 유무에 따른 구조물 저판 중앙절점부 단면력 비교를 위해 CASE별 저판 중앙절점부의 값을 중간말뚝이 없을 경우와 있을 경우를 비교하여 분석하였다.

이를 위해 그림 3.3에서 보는바와 같이 저판에 1m 간격으로 절점을 두어 중간말뚝을 고려하지 않은 상태에서 85 CASE(폭원별 60, 두께별 25)와 중간말뚝이 있을 경우를 가정한 상태에서 85 CASE(폭원별 60, 두께별 25)로 해석을 진행하였다.

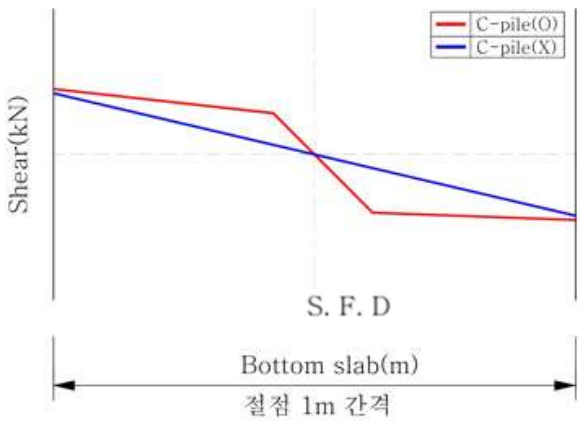
해석값 중 중간말뚝이 구조물 저판에 영향을 미치고 있으므로 중앙 절점 값만을 취하여 구조물 중앙 절점에 작용하는 모멘트를 비교하였다. 중간말뚝을 고려하지 않은 상태에서 Moment값을 M1, 중간말뚝을 고려한 상태에서 Moment값을 M2로 하여 두 Moment의 차를 M′로 하였으며, 전단력은 중간말뚝을 고려하지 않은 상태에서 S1, 중간말뚝을 고려한 상태에서 S2로 하여 두 Shear의 차를 S′로 계산값을 표기하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY





B. M. D



S. F. D

Bottom slab(m)

절점 1m 간격

여기서 Moment : M1(C-pile(x)), M2(C-pile(o)), M′(gap차)
Shear : S1(C-pile(x)), S2(C-pile(o)), S′(gap차)

그림 3.3 저판에 작용하는 휨모멘트도(B.M.D) 및 전단력도(S.F.D)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.3 슬래브 폭원별 해석결과

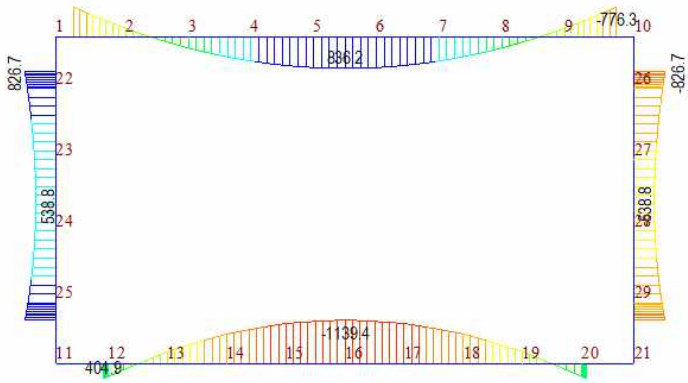
3.3.1 구조물 설치조건이 최저치일 때 해석결과

중간말뚝이 없는 상태에서 최저 조건값인 N=10, H=5, B=10 일 경우, 지하구조물에 미치는 절점부 단면력을 표 3.3의 하중조합으로 계산하여 본 결과 절점별 단면력 값은 표 3.8과 같다. 또한 구조체 전체의 휨모멘트도(Bending Moment Diagram, B.M.D)는 그림 3.4 (a)로, 전단력도(Shear Force Diagram, S.F.D)는 그림 3.4 (b)로 계산되었다.

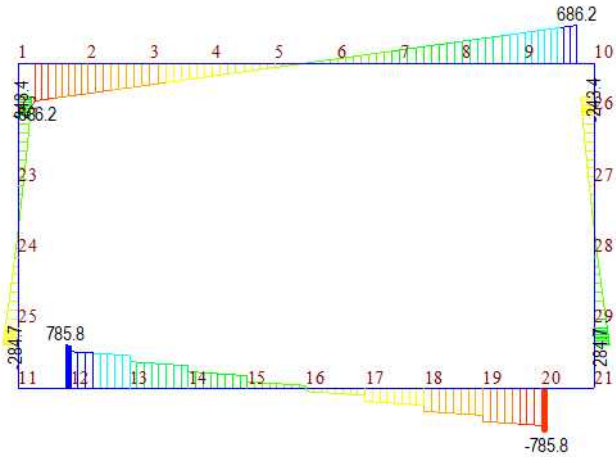
표 3.8 중간말뚝이 없을 경우 N=10, H=5, B=10 조건일 때 단면력값

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y(kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z(kN·m)
1	CBC:LCB1(U).(상시)	I[1]	-295.89	0	-686.18	0	-776.34	0
2		I[2]	-295.89	0	-554.78	0	-217.91	0
3		I[3]	-295.89	0	-396.27	0	298.38	0
4		I[4]	-295.89	0	-237.76	0	642.57	0
5		I[5]	-295.89	0	-79.25	0	814.66	0
6		I[6]	-295.89	0	79.25	0	814.66	0
7		I[7]	-295.89	0	237.76	0	642.57	0
8		I[8]	-295.89	0	396.27	0	298.38	0
9		I[9]	-295.89	0	554.78	0	-217.91	0
10		I[11]	-404.12	0	785.79	0	404.89	0
11		I[12]	-404.12	0	671.96	0	340.31	0
12		I[13]	-404.12	0	487.72	0	-309.98	0
13		I[14]	-404.12	0	306.03	0	-771.77	0
14		I[15]	-404.12	0	126.05	0	-1047.66	0
15		I[16]	-404.12	0	-53.32	0	-1139.42	0
16		I[17]	-404.12	0	-233.29	0	-1047.66	0
17		I[18]	-404.12	0	-414.98	0	-771.77	0
18		I[19]	-404.12	0	-599.22	0	-309.98	0
19		I[20]	-404.12	0	-779.93	0	340.31	0
20		I[1]	-729.97	0	243.44	0	826.7	0
21		I[22]	-756.45	0	215.27	0	757.86	0
22		I[23]	-792.74	0	85.77	0	569.96	0
23		I[24]	-829.02	0	-65.69	0	555.32	0
24		I[25]	-865.31	0	-239.14	0	741.04	0
25		I[10]	-729.97	0	-243.44	0	-826.7	0
26		I[26]	-756.45	0	-215.27	0	-757.86	0
27		I[27]	-792.74	0	-85.77	0	-569.96	0
28		I[28]	-829.02	0	65.69	0	-555.32	0
29		I[29]	-865.31	0	239.14	0	-741.04	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.4 중간말뚝이 없을 경우 N=10, H=5, B=10 조건일 때 구조체 단면력

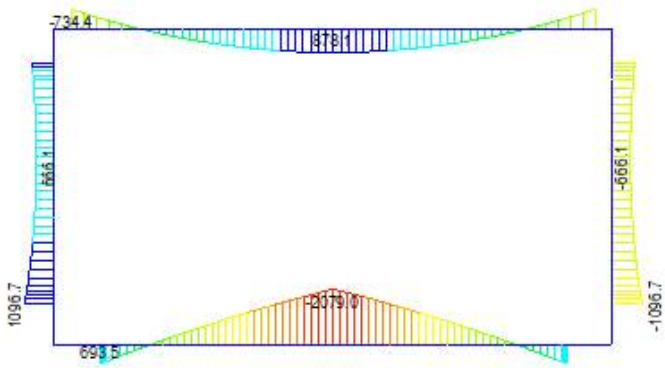
N=10, H=5, B=10인 조건에서 중간말뚝이 있을 경우, 중간말뚝이 저판 중앙 절점부 단단한 지반에 고정되어 있다고 가정하였다. 지하구조물에 미치는 절점부 단면력을 하중조합 값을 고려하여 상시 조건상태로 계산하여 본 결과 절점별 단면력 값은 표 3.9와 같다. 이에 따른 휨모멘트도(B.M.D)는 그림 3.5 (a)와 같고, 구조체 전단력도(S.F.D)는 그림 3.5 (b)와 같다. 결과를 보면 중간말뚝으로 인해 구조물 저판 휨모멘트와 전단력 값이 증가함을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

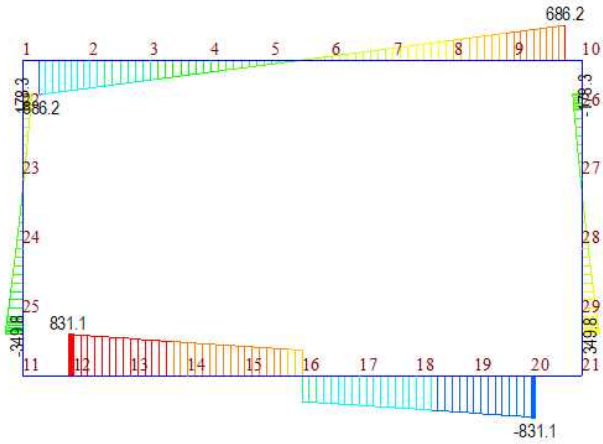
표 3.9 중간말뚝이 있을 경우 N=10, H=5, B=10 조건일 때 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y(kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z(kN·m)
1	CBC:LCB1(U).(상시)	I[1]	-230.78	0	-686.18	0	-734.41	0
2		I[2]	-230.78	0	-554.78	0	-175.98	0
3		I[3]	-230.78	0	-396.27	0	340.3	0
4		I[4]	-230.78	0	-237.76	0	684.49	0
5		I[5]	-230.78	0	-79.25	0	856.59	0
6		I[6]	-230.78	0	79.25	0	856.59	0
7		I[7]	-230.78	0	237.76	0	684.49	0
8		I[8]	-230.78	0	396.27	0	340.3	0
9		I[9]	-230.78	0	554.78	0	-175.98	0
10		I[11]	-469.24	0	831.11	0	693.49	0
11		I[12]	-469.24	0	814.32	0	625.16	0
12		I[13]	-469.24	0	733.89	0	-170.78	0
13		I[14]	-469.24	0	657.15	0	-884.43	0
14		I[15]	-469.24	0	583.19	0	-1519.57	0
15		I[16]	-469.24	0	-510.45	0	-2079.04	0
16		I[17]	-469.24	0	-584.42	0	-1519.57	0
17		I[18]	-469.24	0	-661.15	0	-884.43	0
18		I[19]	-469.24	0	-741.58	0	-170.78	0
19		I[20]	-469.24	0	-825.25	0	625.16	0
20		I[1]	-729.97	0	178.33	0	823.85	0
21		I[22]	-756.45	0	150.15	0	774.54	0
22		I[23]	-792.74	0	20.66	0	666.95	0
23		I[24]	-829.02	0	-130.81	0	732.62	0
24		I[25]	-865.31	0	-304.26	0	998.65	0
25		I[10]	-729.97	0	-178.33	0	-823.85	0
26		I[26]	-756.45	0	-150.15	0	-774.54	0
27		I[27]	-792.74	0	-20.66	0	-666.95	0
28		I[28]	-829.02	0	130.81	0	-732.62	0
29		I[29]	-865.31	0	304.26	0	-998.65	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.5 중간말뚝이 있을 경우 N=10, H=5, B=10 조건일 때 구조체 단면력

3.3.2 구조물 설치조건이 최대치일 때 해석결과

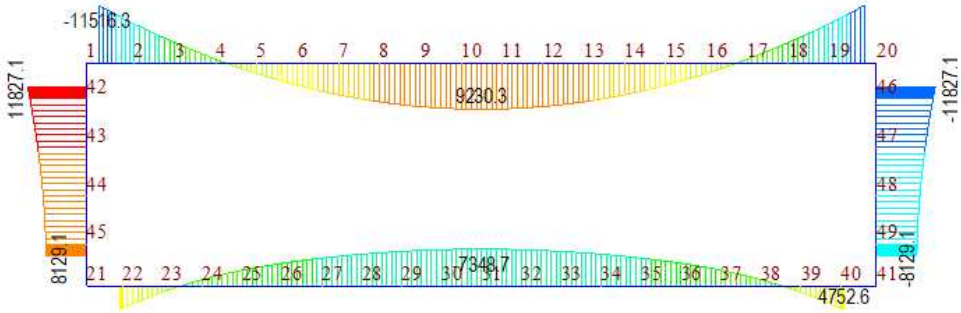
중간말뚝이 없는 상태에서 구조물 설치조건의 최대치인 N=50, H=20, B=20일 경우를 가정하여 구조해석을 실시하였다. 지하구조물에 미치는 절점부 단면력으로부터 절점별 단면력 값은 표 3.10과 같고, 구조체 휨모멘트도(B.M.D)는 그림 3.6 (a), 그리고 구조체 전단력도(S.F.D)는 그림 3.6 (b)와 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

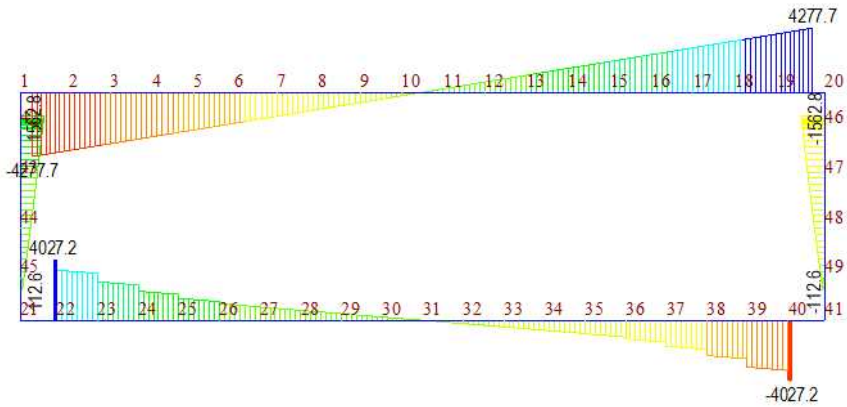
표 3.10 중간말뚝이 없을 경우 N=50, H=20, B=20 조건일 때 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z (kN·m)
1	CBC:LCB1(U).(상시)	I[1]	-1743.95	0	-4277.65	0	-11516.3	0
2		I[2]	-1743.95	0	-3880.76	0	-7844.98	0
3		I[3]	-1743.95	0	-3424.2	0	-4063.59	0
4		I[4]	-1743.95	0	-2967.64	0	-754.88	0
5		I[5]	-1743.95	0	-2511.08	0	2081.16	0
6		I[6]	-1743.95	0	-2054.52	0	4444.53	0
7		I[7]	-1743.95	0	-1597.96	0	6335.22	0
8		I[8]	-1743.95	0	-1141.4	0	7753.24	0
9		I[9]	-1743.95	0	-684.84	0	8698.59	0
10		I[10]	-1743.95	0	-228.28	0	9171.26	0
11		I[11]	-1743.95	0	228.28	0	9171.26	0
12		I[12]	-1743.95	0	684.84	0	8698.59	0
13		I[13]	-1743.95	0	1141.4	0	7753.24	0
14		I[14]	-1743.95	0	1597.96	0	6335.22	0
15		I[15]	-1743.95	0	2054.52	0	4444.53	0
16		I[16]	-1743.95	0	2511.08	0	2081.16	0
17		I[17]	-1743.95	0	2967.64	0	-754.88	0
18		I[18]	-1743.95	0	3424.2	0	-4063.59	0
19		I[19]	-1743.95	0	3880.76	0	-7844.98	0
20		I[21]	-167.67	0	4027.23	0	4752.55	0
21		I[22]	-167.67	0	3343.59	0	4421.05	0
22		I[23]	-167.67	0	2568.91	0	1154.44	0
23		I[24]	-167.67	0	1944.53	0	-1329.53	0
24		I[25]	-167.67	0	1464.53	0	-3182.7	0
25		I[26]	-167.67	0	1116.15	0	-4550.94	0
26		I[27]	-167.67	0	881.69	0	-5567.22	0
27		I[28]	-167.67	0	661.27	0	-6346.63	0
28		I[29]	-167.67	0	440.85	0	-6903.35	0
29		I[30]	-167.67	0	220.42	0	-7237.38	0
30		I[31]	-167.67	0	0	0	-7348.73	0
31		I[32]	-167.67	0	-220.42	0	-7237.38	0
32		I[33]	-167.67	0	-440.85	0	-6903.35	0
33		I[34]	-167.67	0	-661.27	0	-6346.63	0
34		I[35]	-167.67	0	-895.73	0	-5567.22	0
35		I[36]	-167.67	0	-1244.1	0	-4550.94	0
36		I[37]	-167.67	0	-1724.11	0	-3182.7	0
37		I[38]	-167.67	0	-2348.49	0	-1329.53	0
38		I[39]	-167.67	0	-3123.16	0	1154.44	0
39		I[40]	-167.67	0	-4009.23	0	4421.05	0
40		I[1]	-4409.95	0	1562.83	0	11827.11	0
41		I[42]	-4436.43	0	1470.32	0	11372.1	0
42		I[43]	-4472.71	0	1076.35	0	9799.39	0
43		I[44]	-4509	0	660.4	0	8726.14	0
44		I[45]	-4545.28	0	222.48	0	8179.43	0
45		I[20]	-4409.95	0	-1562.83	0	-11827.1	0
46		I[46]	-4436.43	0	-1470.32	0	-11372.1	0
47		I[47]	-4472.71	0	-1076.35	0	-9799.39	0
48		I[48]	-4509	0	-660.4	0	-8726.14	0
49		I[49]	-4545.28	0	-222.48	0	-8179.43	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.6 중간말뚝이 없을 경우 N=50, H=20, B=20 조건일 때 구조체 단면력

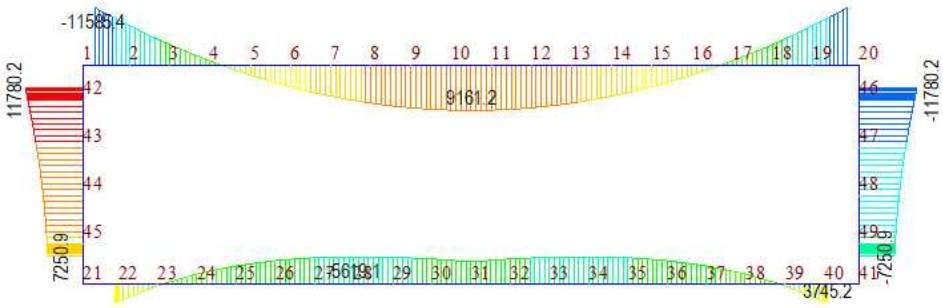
중간말뚝이 중앙절점부 저판 단단한 지반에 고정되어 있다는 가정하에 구조물 설치조건의 최대치인 N=50, H=20, B=20인 조건값에서 구조해석을 실시하였다. 해석결과로부터 지하구조물에 미치는 절점부 단면력을 표 3.11와 같고, 휨모멘트도(B.M.D)는 그림 3.7 (a), 전단력도(S.F.D)는 그림 3.7 (b)에 보여주고 있다. 중간말뚝에 의해 구조물 저판 휨모멘트와 전단력 값이 감소함을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

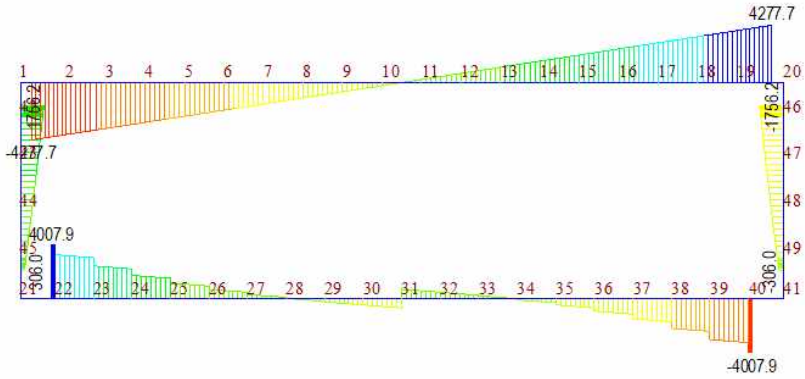
표 3.11 중간말뚝이 있을 경우 N=50, H=20, B=20 조건일 때 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y(kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z (kN·m)
1	CBC:LCB1(U).(상시)	I[1]	-1937.28	0	-4277.65	0	-11585.4	0
2		I[2]	-1937.28	0	-3880.76	0	-7914.08	0
3		I[3]	-1937.28	0	-3424.2	0	-4132.7	0
4		I[4]	-1937.28	0	-2967.64	0	-823.98	0
5		I[5]	-1937.28	0	-2511.08	0	2012.06	0
6		I[6]	-1937.28	0	-2054.52	0	4375.42	0
7		I[7]	-1937.28	0	-1597.96	0	6266.12	0
8		I[8]	-1937.28	0	-1141.4	0	7684.14	0
9		I[9]	-1937.28	0	-684.84	0	8629.48	0
10		I[10]	-1937.28	0	-228.28	0	9102.16	0
11		I[11]	-1937.28	0	228.28	0	9102.16	0
12		I[12]	-1937.28	0	684.84	0	8629.48	0
13		I[13]	-1937.28	0	1141.4	0	7684.14	0
14		I[14]	-1937.28	0	1597.96	0	6266.12	0
15		I[15]	-1937.28	0	2054.52	0	4375.42	0
16		I[16]	-1937.28	0	2511.08	0	2012.06	0
17		I[17]	-1937.28	0	2967.64	0	-823.98	0
18		I[18]	-1937.28	0	3424.2	0	-4132.7	0
19		I[19]	-1937.28	0	3880.76	0	-7914.08	0
20		I[21]	25.66	0	4007.94	0	3745.24	0
21		I[22]	25.66	0	3275.32	0	3415.33	0
22		I[23]	25.66	0	2437.11	0	217.69	0
23		I[24]	25.66	0	1733.66	0	-2133.13	0
24		I[25]	25.66	0	1155.88	0	-3773.26	0
25		I[26]	25.66	0	688.68	0	-4829.67	0
26		I[27]	25.66	0	313.14	0	-5414.09	0
27		I[28]	25.66	0	8.23	0	-5619.1	0
28		I[29]	25.66	0	-247.75	0	-5516.07	0
29		I[30]	25.66	0	-476.03	0	-5154.44	0
30		I[31]	25.66	0	696.45	0	-4562.17	0
31		I[32]	25.66	0	468.17	0	-5154.44	0
32		I[33]	25.66	0	212.19	0	-5516.07	0
33		I[34]	25.66	0	-92.72	0	-5619.1	0
34		I[35]	25.66	0	-468.26	0	-5414.09	0
35		I[36]	25.66	0	-935.45	0	-4829.67	0
36		I[37]	25.66	0	-1513.23	0	-3773.26	0
37		I[38]	25.66	0	-2216.69	0	-2133.13	0
38		I[39]	25.66	0	-3054.9	0	217.69	0
39		I[40]	25.66	0	-3989.94	0	3415.33	0
40		I[1]	-4409.95	0	1756.16	0	11780.21	0
41		I[42]	-4436.43	0	1663.66	0	11267.21	0
42		I[43]	-4472.71	0	1269.68	0	9456.05	0
43		I[44]	-4509	0	853.74	0	8144.35	0
44		I[45]	-4545.28	0	415.81	0	7359.21	0
45		I[20]	-4409.95	0	-1756.16	0	-11780.2	0
46		I[46]	-4436.43	0	-1663.66	0	-11267.2	0
47		I[47]	-4472.71	0	-1269.68	0	-9456.05	0
48		I[48]	-4509	0	-853.74	0	-8144.35	0
49		I[49]	-4545.28	0	-415.81	0	-7359.21	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.7 중간말뚝이 있을 경우 N=50, H=20, B=20 조건일 때 구조체 단면력

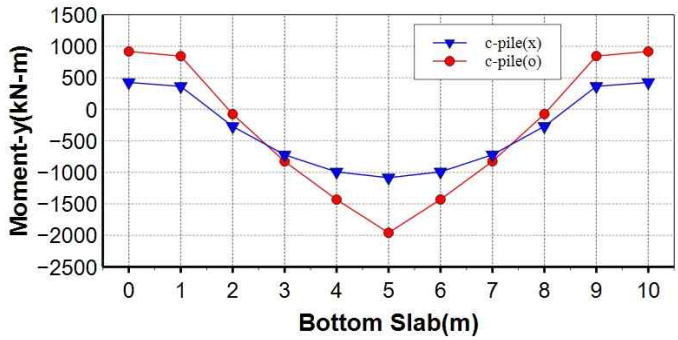
3.3.3 중간말뚝 유무에 따른 구조물 저판 단면력 해석결과

중간말뚝 유무에 따른 구조물 저판에 미치는 단면력을 분석하기 위해 구조물 설치조건의 최저치인 N=10, H=5, B=10인 조건값에서 중간말뚝이 없을 경우와 있을 경우에 대해 구조해석을 실시하여 표 3.12과 같이 보여주고 있다. 보다 정확한 단면력의 변화를 보여주기 위해 그림 3.8 (a) 휨모멘트도(B.M.D), 그림 3.8 (b)에 전단력도(S.F.D)를 보여주고 있다. 결과에 의하면 구조물 저판 중앙절점부의 Moment-y값과 Shear-z값에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 특히 중앙절점부 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 1139.42kN·m에서 중간말뚝이 있는 경우 2079.04kN·m로 82.5% 늘어난 것을 확인할 수 있다.

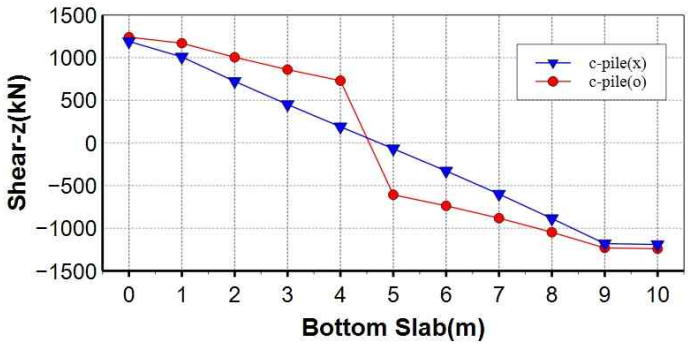
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 3.12 N=10, H=5, B=10 조건일 때 저판 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial(kN)		Shear-z(kN)		Moment-y(kN·m)	
			pile(X)	pile(0)	pile(X)	pile(0)	pile(X)	pile(0)
10	CBC:LCB1(U).(상시)	I[11]	-404.12	-409.24	2060.46	2158.44	404.89	693.49
11		I[12]	-404.12	-409.24	1776.03	2085.2	340.31	625.16
12		I[13]	-404.12	-409.24	1286.29	1823.5	-309.98	-170.78
13		I[14]	-404.12	-409.24	810.27	1580.49	-771.77	-884.43
14		I[15]	-404.12	-409.24	343.43	1351.29	-1047.66	-1519.57
15		I[16]	-404.12	-409.24	-120.2	-1128.06	-1139.42	-2079.04
16		I[17]	-404.12	-409.24	-587.04	-1357.26	-1047.66	-1519.57
17		I[18]	-404.12	-409.24	-1063.06	-1600.27	-771.77	-884.43
18		I[19]	-404.12	-409.24	-1552.8	-1861.98	-309.98	-170.78
19		I[20]	-404.12	-409.24	-2042.46	-2140.44	340.31	625.16
20		J[21]	-404.12	-409.24	-2060.46	-2158.44	404.89	693.49



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.8 N=10, H=5, B=10 조건일 때 구조체 저판 단면력

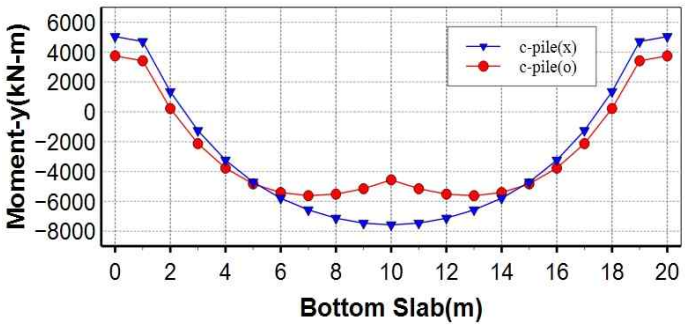
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

구조물 설치조건의 최대치인 N=50, H=20, B=20인 조건값에서 중간말뚝이 없을 경우와 있을 경우를 표 3.13과 같이 보여주고 있다. 보다 정확한 단면력의 변화를 보여주기 위해 그림 3.9 (a)에 휨모멘트도(B.M.D), 그림 3.9 (b)에 전단력도(S.F.D)를 보여주고 있다. 결과에 의하면 구조물 저판 중앙절점부의 Moment-y과 Shear-z값에 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 특히 중앙절점부 Moment-y값이 중간말뚝이 없는 경우 7348.73kN·m에서 중간말뚝이 있는 경우 4562.17kN·m로 37.9% 감소한 것을 확인할 수 있다.

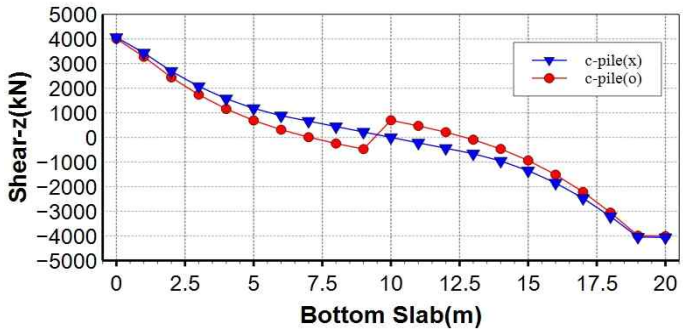
표 3.13 N=50, H=20, B=20 조건일 때 저판 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial(kN)		Shear-z(kN)		Moment-y(kN·m)	
			pile(X)	pile(0)	pile(X)	pile(0)	pile(X)	pile(0)
20	CBC:LCB1(U).(상시)	I[21]	167.67	25.66	4027.23	4007.94	4752.55	3745.24
21		I[22]	167.67	25.66	3343.59	3275.32	4421.05	3415.33
22		I[23]	167.67	25.66	2568.91	2437.11	1154.44	217.69
23		I[24]	167.67	25.66	1944.53	1733.66	-1329.53	-2133.13
24		I[25]	167.67	25.66	1464.53	1155.88	-3182.7	-3773.26
25		I[26]	167.67	25.66	1116.15	688.68	-4550.94	-4829.67
26		I[27]	167.67	25.66	881.69	313.14	-5567.22	-5414.09
27		I[28]	167.67	25.66	661.27	8.23	-6346.63	-5619.1
28		I[29]	167.67	25.66	440.85	-247.75	-6903.35	-5516.07
29		I[30]	167.67	25.66	220.42	-476.03	-7237.38	-5154.44
30		I[31]	167.67	25.66	0	696.45	-7348.73	-4562.17
31		I[32]	167.67	25.66	-220.42	468.17	-7237.38	-5154.44
32		I[33]	167.67	25.66	-440.85	212.19	-6903.35	-5516.07
33		I[34]	167.67	25.66	-661.27	-92.72	-6346.63	-5619.1
34		I[35]	167.67	25.66	-895.73	-468.26	-5567.22	-5414.09
35		I[36]	167.67	25.66	-1244.1	-935.45	-4550.94	-4829.67
36		I[37]	167.67	25.66	-1724.11	-1513.23	-3182.7	-3773.26
37		I[38]	167.67	25.66	-2348.49	-2216.69	-1329.53	-2133.13
38		I[39]	167.67	25.66	-3123.16	-3054.9	1154.44	217.69
39		I[40]	167.67	25.66	-4009.23	-3989.94	4421.05	3415.33
40		J[41]	167.67	25.66	-4027.23	-4007.94	4752.55	3745.24

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.9 N=50, H=20, B=20 조건일 때 구조체 저판 단면력

3.3.4 토피고에 따른 구조물 저판 단면력 해석결과

(1) 토피고 5m일 때 구조해석 결과

토피고 5m일 때 구조물 폭(10m, 16m, 20m), N값(10, 20, 30, 40, 50)에 따라 지반반력계수 값을 계산하고 구조해석을 실시하였다. 해석결과로부터 표 3.14에 N값과 폭원에 따라 중간말뚝(C-PILE)이 있을 경우와 없을 경우의 저판 슬래브에 작용하는 Moment-y값과 Shear-z값을 비교하여 보여주고 있다.

중간말뚝이 없는 상태에서 저판폭원 B=10일 경우 N값에 따른 Moment값과 Shear값의 변화가 크게 없으나 저판폭원 B=20일 경우에는 Moment-y값과 Shear-z값이 커짐을 알 수 있으며, 중간말뚝이 있는 상태에서 저판폭원 B=10일

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

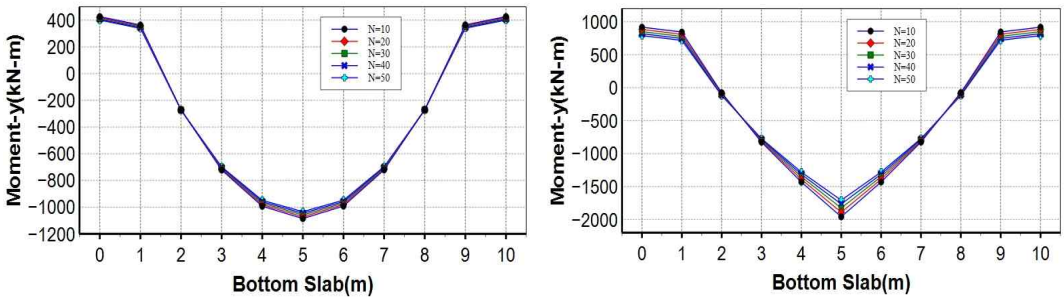
경우 N값에 따른 Moment-y값과 Shear-z값에 전반적으로 영향을 주어 커짐을 알 수 있다. 저판폭원 B=20일 경우에는 Moment-y값과 Shear-z값은 N값이 커질수록 작아지면서 중앙 절점부 반력이 상대적으로 감소함을 알 수 있다.

표 3.14 토피고 5m일 때 구조물 폭원과 N값에 따른 중앙절점부 Moment-y와 Shear-z값

구분		Moment-y(kN·m)					Shear-z(kN)				
		N=10	N=20	N=30	N=40	N=50	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
폭원 10M	c-pile(x)	-1139.42	-1125.4	-1111.66	-1098.22	-1085.04	-53.32	-51.36	-49.44	-47.56	-45.72
	c-pile(o)	-2079.04	-2006.52	-1938.13	-1873.53	-1812.41	-510.45	-481.97	-455.14	-429.83	-405.92
	Gap	939.62	881.12	826.47	775.31	727.37	457.13	430.61	405.7	382.27	360.2
폭원 16M	c-pile(x)	-2543.01	-2402.22	-2273.57	-2155.6	-2047.04	-39.31	-31.01	-23.48	-16.61	-10.33
	c-pile(o)	-4134.39	-3534.41	-3055.78	-2665.52	-2341.6	-567.96	-415.58	-294.81	-197.05	-116.55
	Gap	1591.38	1132.19	782.21	509.92	294.56	528.65	384.57	271.33	180.44	106.22
폭원 20M	c-pile(x)	-3500.35	-3119.89	-2800.39	-2610.31	-2511.13	-28.28	-13.62	-1.48	0	0
	c-pile(o)	-5083.02	-3757.07	-2860.28	-2216.41	-1733.99	-471.08	-200.04	-19.71	107.24	200.21
	Gap	1582.67	637.18	59.89	-393.9	-777.14	442.8	186.42	18.23	-107.24	-200.21

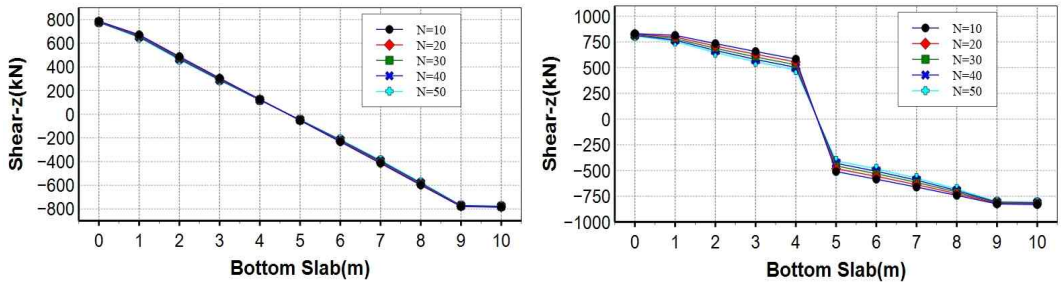
지하구조물을 설치함에 있어 토피고 5m에 구조물 폭원 10m를 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.14에서 폭원 10m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.10 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 4.8% 감소하였고 그림 3.11 (a)와 같이 Shear-z값은 14.3% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝에 집중하중으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.10 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 12.8% 감소하였고 그림 3.11(b)와 같이 Shear-z값은 20.5% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.10 토피고 5m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

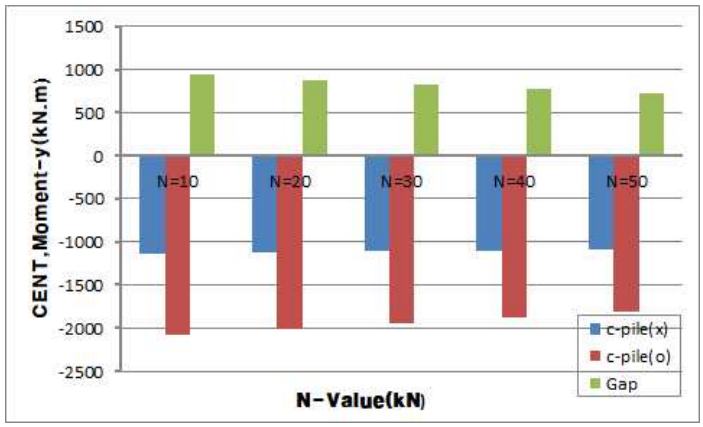


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

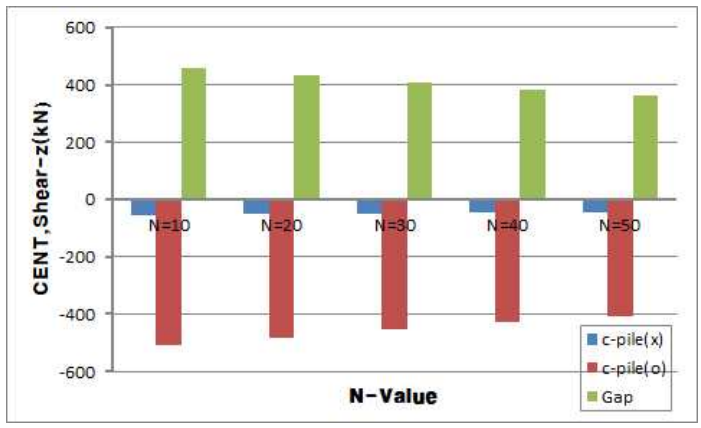
그림 3.11 토피고 5m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력차를 비교해 보면 중앙 절점 Moment는 그림 3.12 (a)에서 보는 바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 -1139.42kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 82.5% 증가한 -2079.04kN·m임을 알 수 있다. N값이 50일 경우에도 중간말뚝이 없을 경우 -1085.04kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 67.0% 증가한 -1812.41kN·m로 영향을 미치고 있다. Shear-z값 또한 그림 3.12 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 커짐에 따라 완만하게 감소하기는 하나 구조물 저판에 전반적인 영향을 주고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석

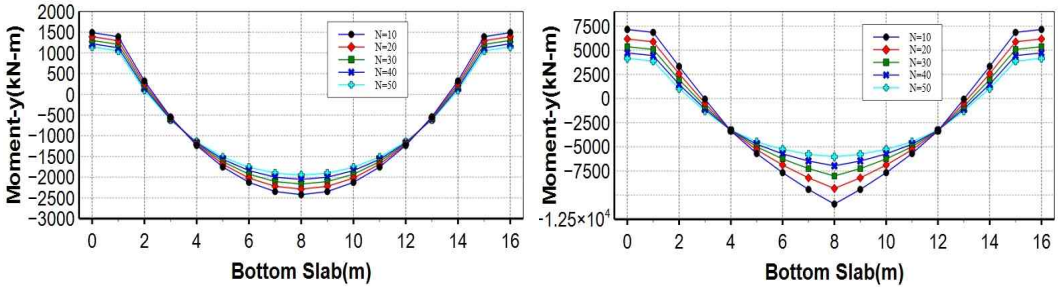


(b) Shear-z값 분석

그림 3.12 토피고 5m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

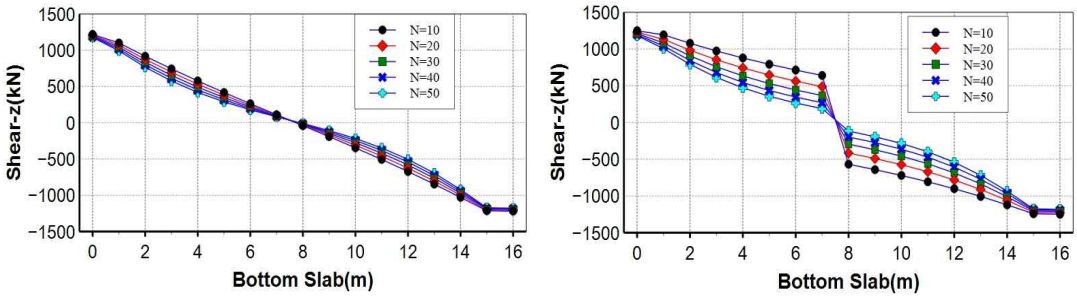
토피고 5m에 폭원이 16m일 경우 표 3.14에서 폭원 16m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.13 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 19.5% 감소하였고 그림 3.14 (a)와 같이 Shear-z값은 57.7% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.13 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 43.3% 감소하였고 그림 3.14 (b)와 같이 Shear-z값은 79.5% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.13 토피고 5m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

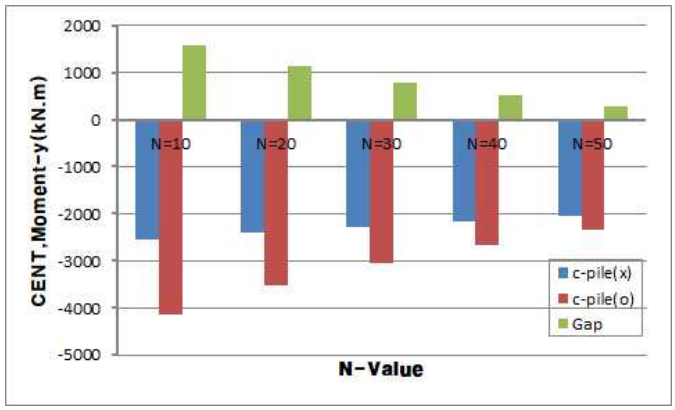


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

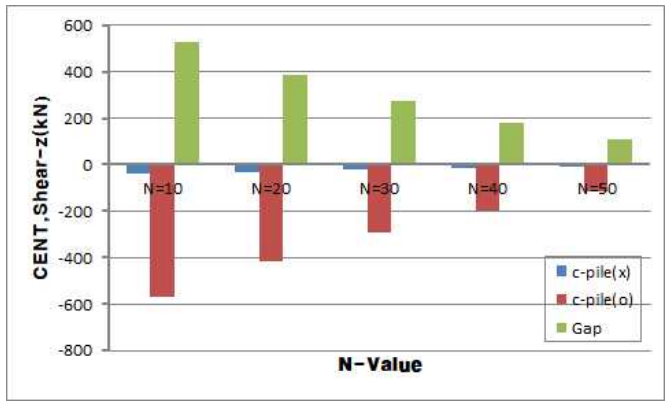
그림 3.14 토피 5m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값별 반력 차이를 비교해보면 중앙 절점 Moment는 그림 3.15 (a)에서 N값이 커질수록 감소폭 또한 커지는 경향을 보이고 있다. N값이 10일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 중앙절점의 Moment-y값이 -2543.01kN·m이고 중간말뚝이 있는 상태에서는 -4134.39kN·m로 62.6% 증가한다. 그리고 N값이 50일 때 중간말뚝이 없을 경우 Moment-y값은 -2155.6kN·m이고 중간말뚝이 있을 경우 -2665.52kN·m로 Gap 차이는 294.56kN·m로 중간말뚝에 따른 Moment 증가율이 13.7% 증가하는데 그치고 있다. 그림 3.15 (b)에서 보는 바와 같이 Shear-z값 또한 감소하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석

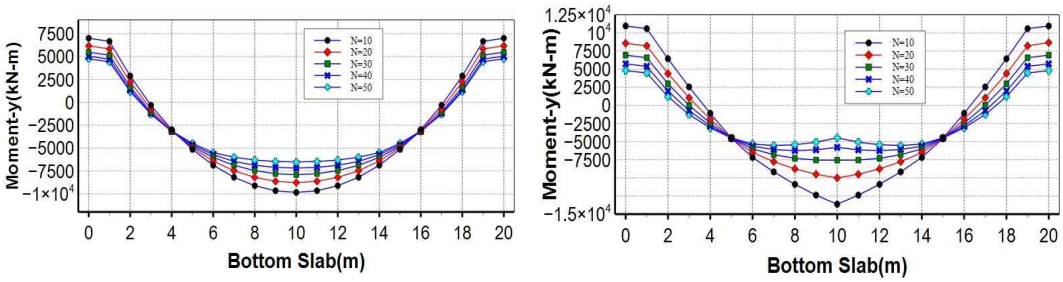


(b) Shear-z값 분석

그림 3.15 토피고 5m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

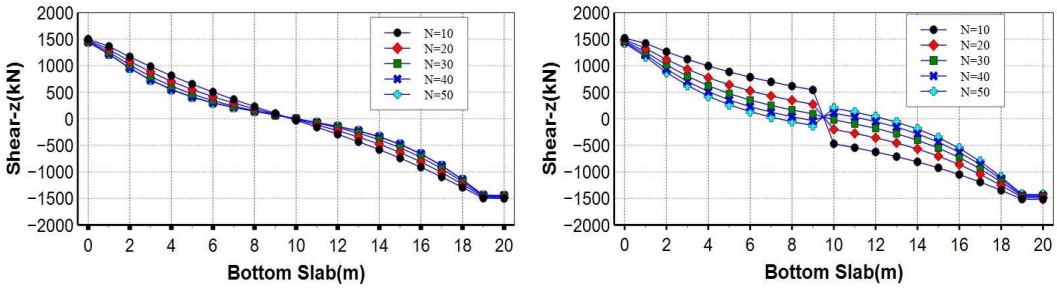
토피고 5m에 폭원이 20m일 경우 표 3.14에서 폭원 20m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.16 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 28.3% 감소하였고 그림 3.17 (a)와 같이 Shear-z 감소값은 0을 보였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.16 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 65.9% 감소하였고 그림 3.17 (b)와 같이 Shear-z값은 57.5% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.16 토피고 5m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교



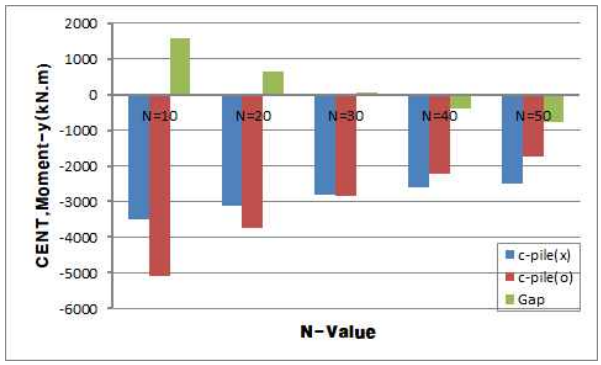
(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.17 토피고 5m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

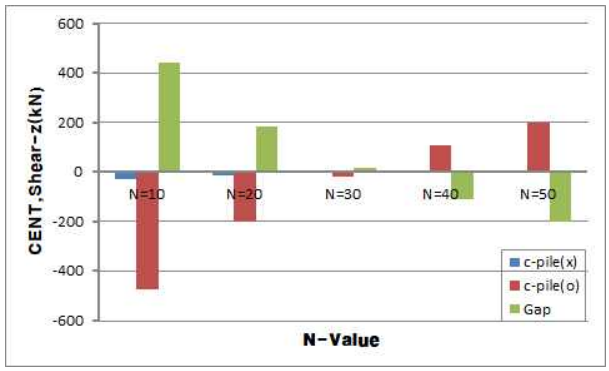
중앙절점에 대한 N값별 반력차를 비교해 보면 Moment는 그림 3.18 (a)와 같이 N값이 10일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 중앙절점의 Moment-y값이 -3333.63kN·m이고 중간말뚝이 있는 상태에서는 -4752.44kN·m로 42.6% 증가한다. N값이 30일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 2800.39kN·m, 중간말뚝이 있는 상태에서 2860.28kN·m로 2.8%증가하는데 그쳐 영향이 없음을 알 수 있다.

N값이 50일 때 중간말뚝이 없을 경우 Moment-y값은 -2213.7kN·m이고 중간말뚝이 있을 경우 -1600.85kN·m로 중간말뚝에 따른 Moment-y값이 27.7% 감소하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다. 그림 3.18 (b)에서 보는 바와 같이 Shear-z값 또한 N=30을 기점으로 역 전단력이 작용하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Shear-z값 분석



(b) Moment-y값 분석

그림 3.18 토피고 5m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

(2) 토피고 10m일 때 구조해석 결과

토피고 10m일 때 구조물 폭(10m, 16m, 20m), N값(10, 20, 30, 40, 50)에 따라 지반반력계수 값을 계산하고 구조해석을 실시하였다. 해석결과로부터 표 3.15에 N값과 폭원에 따라 중간말뚝(C-PILE)이 있을 경우와 없을 경우의 저판 슬래브에 작용하는 Moment-y값과 Shear-z값을 비교하여 보여주고 있다.

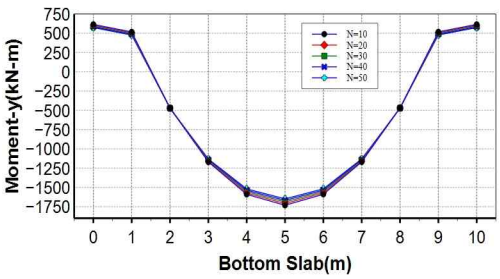
중간말뚝이 없는 상태에서 저판폭원 B=10일 경우 N값에 따른 Moment-y값의 변화가 크게 없으나 저판폭원 B=20일 경우 Moment-y값이 커짐을 알 수 있다. 중간말뚝이 있는 상태에서 저판폭원 B=10일 경우 N값에 따른 Moment-y값이 전반적으로 커짐을 알 수 있으나 저판폭원 B=20일 경우 Moment-y값은 N값이 증가할수록 작아지면서 중앙 절점부 반력이 상대적으로 감소함을 알 수 있다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

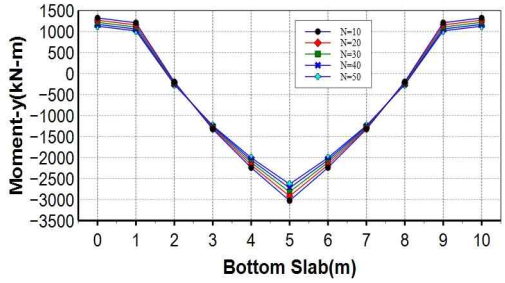
표 3.15 토피고 10m일 때 구조물 폭원과 N값에 따른 중앙절점부 Moment-y와 Shear-z값

구분		Moment-y(kN·m)					Shear-z(kN)				
		N=10	N=20	N=30	N=40	N=50	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
폭원 10M	c-pile(x)	-1771.36	-1749.49	-1728.07	-1707.09	-1686.54	-76.23	-73.17	-70.18	-67.25	-64.39
	c-pile(o)	-3114.68	-3004.85	-2901.28	-2803.44	-2710.89	-729.77	-686.68	-646.1	-607.82	-571.66
	Gap	1343.32	1255.36	1173.21	1096.35	1024.35	653.54	613.51	575.92	540.57	507.27
폭원 16M	c-pile(x)	-4039.94	-3815.67	-3610.75	-3422.82	-3249.91	-57.68	-44.47	-32.48	-21.55	-11.56
	c-pile(o)	-6375.06	-5439.35	-4520.67	-4084.53	-3579.58	-833.4	-595.98	-364.67	-255.7	-130.45
	Gap	2335.12	1623.68	909.92	661.71	329.67	775.72	551.51	332.19	234.15	118.89
폭원 20M	c-pile(x)	-5600.1	-4990.01	-4483.47	-4233.71	-4096.53	-41.19	-17.7	0	0	0
	c-pile(o)	-7905.08	-5817.89	-4406.68	-3393.86	-2635.32	-686.08	-259.9	23.38	222.62	368.35
	Gap	2304.98	827.88	-76.79	-839.85	-1461.21	644.89	242.2	-23.38	-222.62	-368.35

지하구조물을 설치함에 있어 토피고 10m에 구조물 폭원 10m를 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.15에서 폭원 10m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.19 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 4.8% 감소하였고 그림 3.20 (a)와 같이 Shear-z값은 15.5% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝에 집중하중으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.19 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 13.0% 감소하였고 그림 3.20 (b)와 같이 Shear-z값은 21.7% 감소하였다.



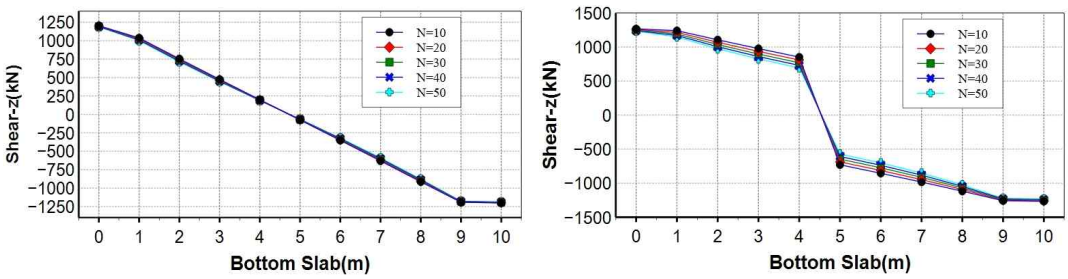
(a) 중간말뚝이 없을 경우(B.M.D)



(b) 중간말뚝이 있을 경우(B.M.D)

그림 3.19 토피고 10m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

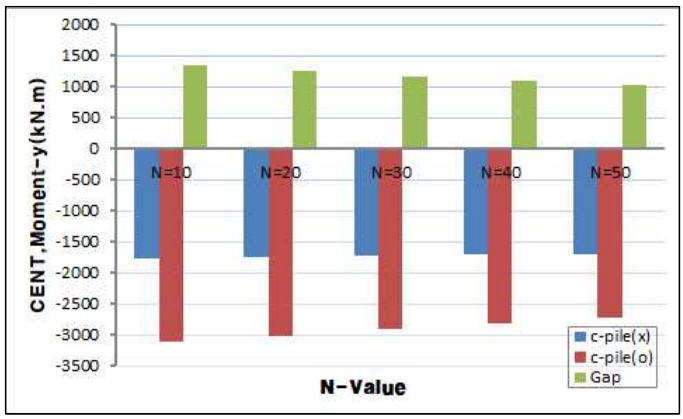
조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

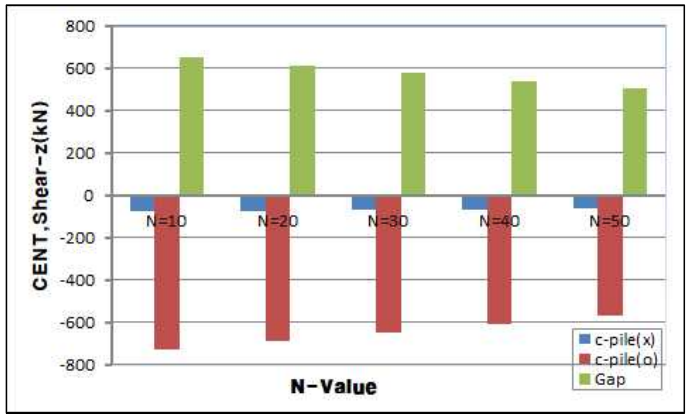
그림 3.20 토피고 10m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력 차이를 비교해 보면 중앙 절점 Moment-y는 그림 3.21(a)에서 보는 바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 -1771.36kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 75.8% 증가한 -3114.68kN·m임을 알 수 있다. N값이 50일 경우에도 중간말뚝이 없는 경우 -1686.54kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 60.7% 증가한 -2710.89kN·m로 영향을 미치고 있다. Shear-z값 또한 그림 3.21 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 증가함에 따라 완만하게 감소하기는 하나 구조물 저판에 전반적인 영향을 주고 있다.



(a) Moment-y값 분석

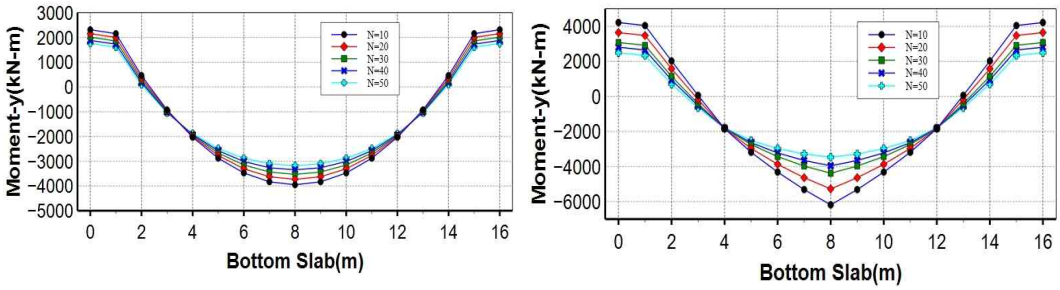
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) Shear-z값 분석

그림 3.21 토피고 10m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

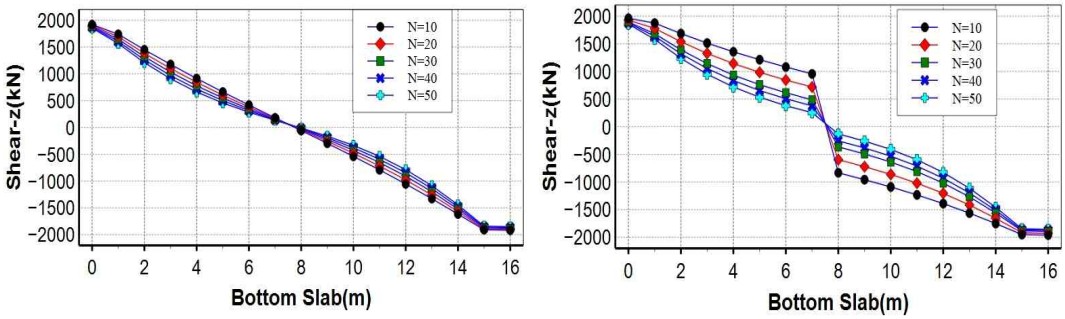
토피고 10m에 폭원이 16m일 경우 표 3.15에서 폭원 16m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.22 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 19.6% 감소하였고 그림 3.23 (a)와 같이 Shear-z값은 79.9% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.22 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 41.0% 감소하였고 그림 3.23 (b)와 같이 Shear-z값은 84.3% 감소하였다.



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.22 토피고 10m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

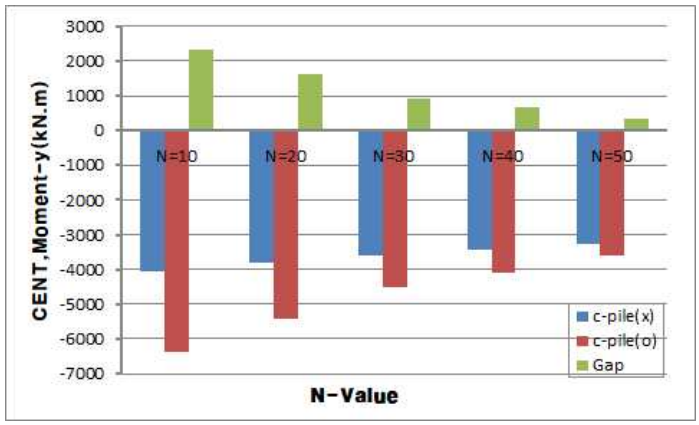


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.23 토피고 10m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

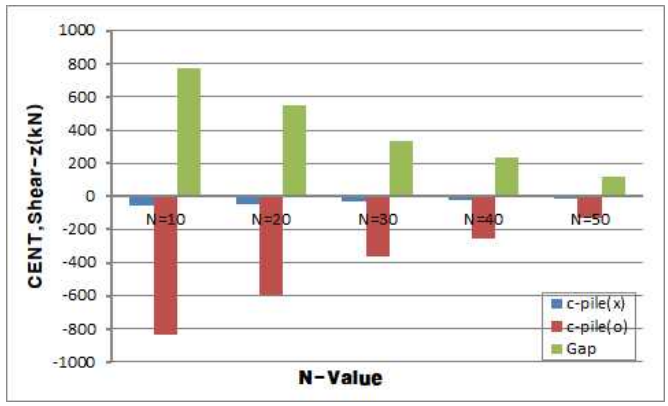
중앙 절점에 대한 N값별 반력의 차이를 비교해 보면 중앙 절점 Moment-y는 그림 3.24 (a)에서 N값이 커질수록 감소폭 또한 커지는 경향을 보이고 있으며 N값이 10일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 중앙절점의 Moment-y값이 -4039.94kN·m이고 중간말뚝이 있는 상태에서는 -6375.06kN·m로 57.8% 증가하였다.

N값이 50일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 Moment-y값은 -3249.91kN·m이고 중간말뚝이 있을 경우 -3579.58kN·m로 Gap 차이는 329.67kN·m로 중간말뚝에 따른 Moment 증가율이 10.1% 증가하였다. 그림 3.24 (b)에서 보는바와 같이 Shear-z값 또한 감소하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.



(a) Moment-y값 분석

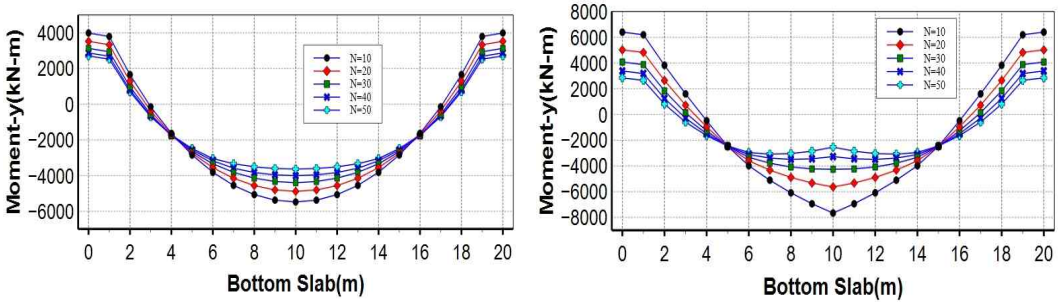
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) Shear-z값 분석

그림 3.24 토피고 10m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

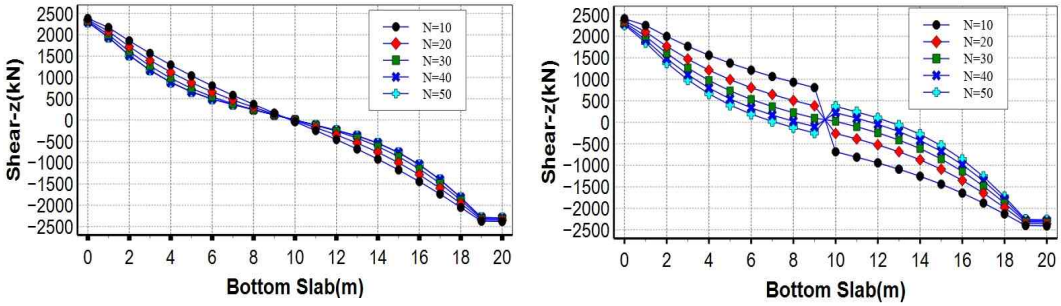
토피고 10m이고 폭원이 20m일 경우 표 3.15에서 폭원 20m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.25 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 26.8% 감소하였고 그림 3.26 (a)와 같이 Shear-z 감소값은 0을 보였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.25 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 66.7% 감소하였고 그림 3.26 (b)와 같이 Shear-z값은 53.7% 감소하였다.



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.25 토피고 10m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

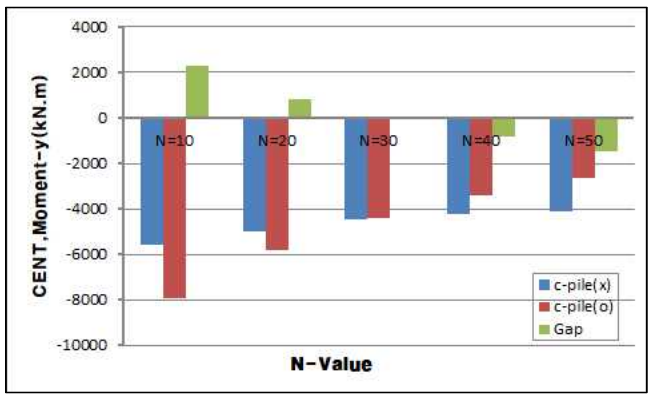


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.26 토피고 10m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

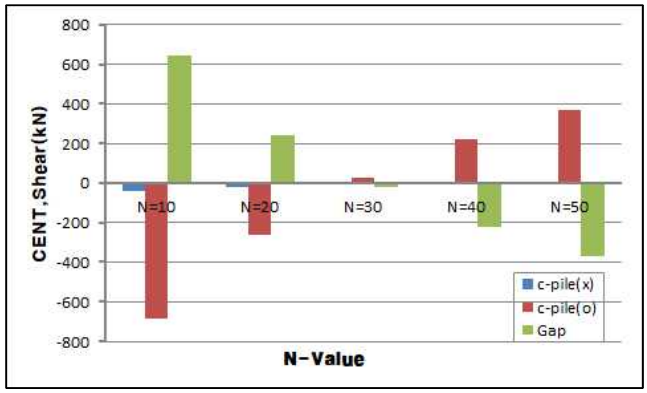
중앙절점에 대한 N값별 반력차를 비고해 보면 Moment는 그림 3.27 (a)와 같이 N값이 10일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 중앙절점의 Moment-y값이 -5600.1kN·m이고 중간말뚝이 있는 상태에서는 -7905.08kN·m로 41.1% 증가한다. 그러나 N값이 30일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 4483.47kN·m, 중간말뚝이 있는 상태에서 4406.68kN·m로 1.7% 감소하여 영향이 없음을 알 수 있다.

N값이 50일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 Moment-y값은 -4906.53kN·m이고 중간말뚝이 있을 경우 -2635.32kN·m로 중간말뚝에 따른 Moment-y값이 46.3% 감소하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다. 그림 3.27 (b)에서 보는 바와 같이 Shear값 또한 N=30을 기점으로 역 전단력이 작용하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.



(a) Moment-y값 분석

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) Shear-z값 분석

그림 3.27 토피고 10m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

(3) 토피고 15m일 때 구조해석 결과

토피고 15m일 때 구조물 폭(10m, 16m, 20m), N값(10, 20, 30, 40, 50)에 따라 지반반력계수 값을 계산하고 구조해석을 실시하였다. 해석결과로부터 표 3.16 N값과 폭원에 따라 중간말뚝(C-PILE)이 있을 경우와 없을 경우의 저판 슬래브에 작용하는 Moment-y값과 Shear-z값을 비교하여 보여주고 있다.

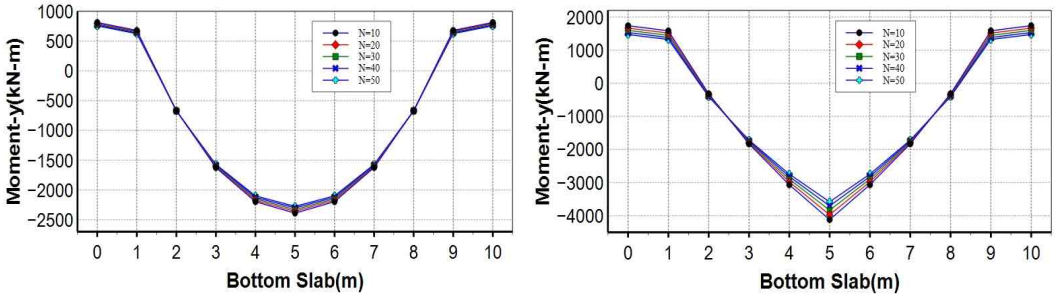
중간말뚝이 없는 상태에서 저판폭원 B=10일 경우 N값에 따른 Moment-y값의 변화가 크게 없으나 저판폭원 B=20일 경우 Moment-y값이 커짐을 알 수 있다. 중간말뚝이 있는 상태에서 저판폭원 B=10일 경우 N값에 따른 Moment-y값이 전반적으로 커짐을 알 수 있으나, 저판폭원 B=20일 경우 Moment-y값은 N값이 커질수록 작아지면서 중앙 절점부 반력이 상대적으로 감소하였다.

표 3.16 토피고 15m일 때 구조물 폭원과 N값에 따른 중앙절점부 Moment-y와 Shear-z값

구분		Moment-y(kN·m)					Shear-z(kN)				
		N=10	N=20	N=30	N=40	N=50	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
폭원 10M	c-pile(x)	-2424.62	-2394.62	-2365.25	-2336.49	-2308.32	-100.63	-96.44	-92.34	-88.34	-84.41
	c-pile(o)	-4198.01	-4049.27	-3909.01	-3776.51	-3651.18	-963.41	-905.09	-850.16	-798.35	-749.41
	Gap	1773.39	1654.65	1543.76	1440.02	1342.86	862.78	808.65	757.82	710.01	665
폭원 16M	c-pile(x)	-5584.74	-5274.31	-4990.67	-4730.56	-4491.22	-77.39	-59.13	-42.53	-27.41	-13.59
	c-pile(o)	-8718.11	-7432.88	-6407.8	-5572.17	-4878.75	-1118.29	-792.31	-534.11	-325.23	-153.34
	Gap	3133.37	2158.57	1417.13	841.61	387.53	1040.9	733.18	491.58	297.82	139.75
폭원 20M	c-pile(x)	-7766.34	-6919.34	-6228.48	-5897.23	-5716.81	-55.27	-22.67	0	0	0
	c-pile(o)	-10859.3	-7979.66	-6032.93	-4635.96	-3589.88	-920.61	-332.88	57.67	332.24	532.98
	Gap	3092.91	1060.32	-195.55	-1261.27	-2126.93	865.34	310.21	-57.67	-332.24	-532.98

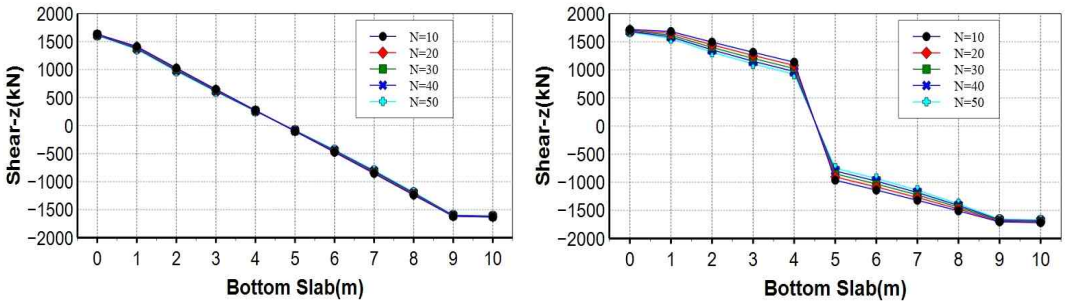
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

지하구조물을 설치함에 있어 토피고 15m에 구조물 폭원 10m를 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.16에서 폭원 10m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.28 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 4.8% 감소하였고 그림 3.29 (a)와 같이 Shear-z값은 16.1% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝에 집중하중으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.28 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 13.0% 감소하였고 그림 3.29 (b)와 같이 Shear-z값은 22.2% 감소하였다.



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.28 토피고 15m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교



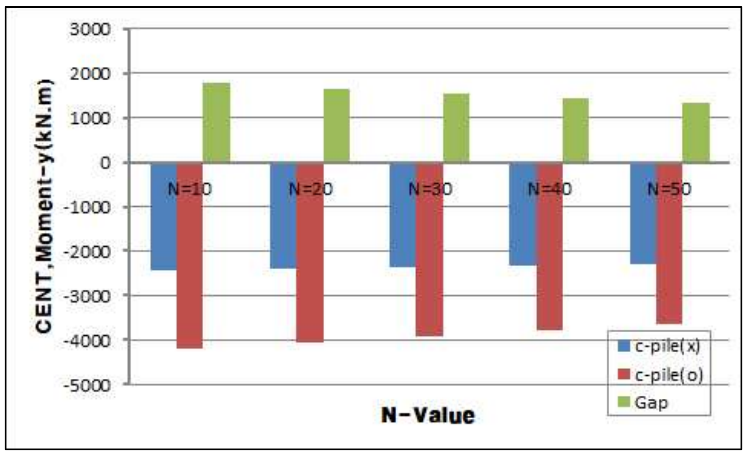
(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.29 토피고 15m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

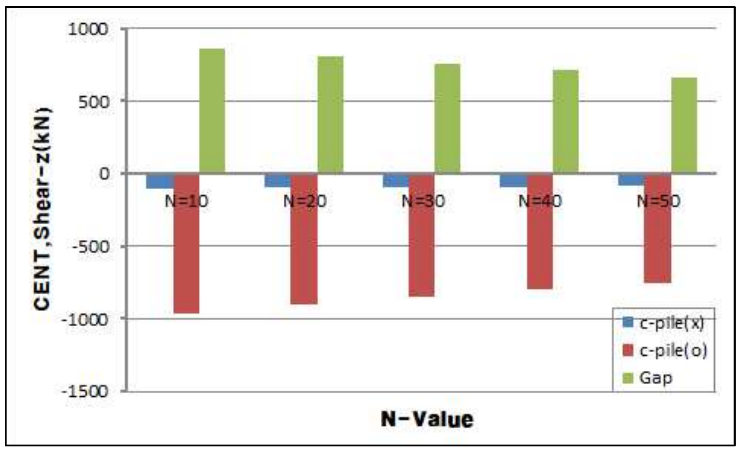
중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력 차이를 비교해 보면 중앙절점 Moment는 그림 3.30 (a)에서 보는 바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y값이

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

중간말뚝이 없을 경우 -2424.62kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 73.1% 증가한 -4198.01kN·m임을 알 수 있다. N값이 50일 경우에도 중간말뚝이 없을 경우 -2308.32kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 58.2% 증가한 -3651.18kN·m로 영향을 미치고 있다. Shear-z값 또한 그림 3.30 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 증가함에 따라 완만하게 감소하기는 하나 구조물 저판에 전반적인 영향을 주고 있다.



(a) Moment-y값 분석

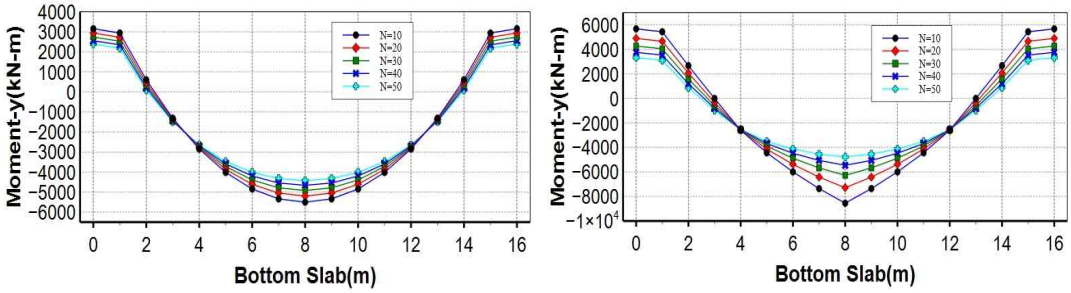


(b) Shear-z값 분석

그림 3.30 토피고 15m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

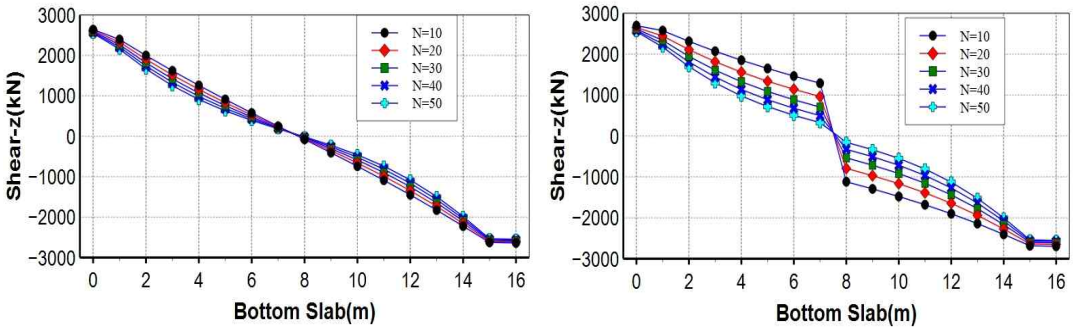
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

토피고 15m에 폭원이 16m일 경우 표 3.16에서 폭원 16m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.22 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 19.6% 감소하였고 그림 3.23 (a)와 같이 Shear-z값은 82.4% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.22 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 44.0% 감소하였고 그림 3.23 (b)와 같이 Shear-z값은 86.3% 감소하였다.



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.31 토피고 15m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교



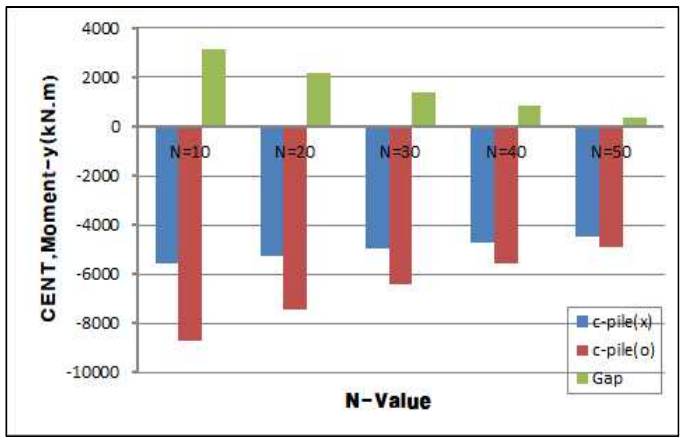
(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.32 토피고 15m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

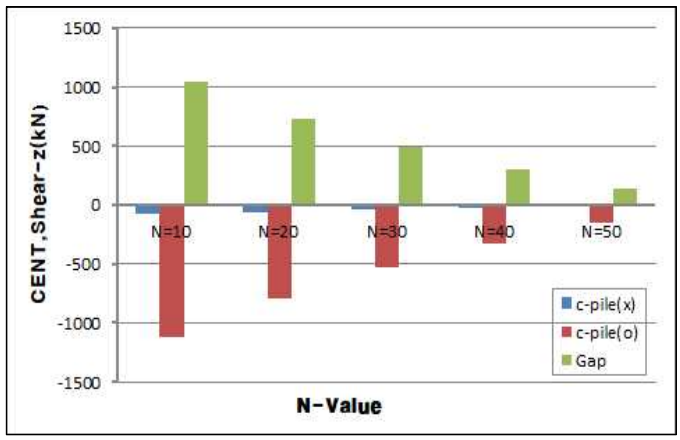
중앙 절점에 대한 N값별 반력 차이를 비교해보면 중앙 절점 Moment는 그림 3.33 (a)에서 N값이 커질수록 감소폭 또한 커지는 경향을 보이고 있다. N값이 10일 경우

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

중간말뚝이 없는 상태에서 중앙절점의 Moment-y값이 -5584.74kN·m이고 중간말뚝이 있는 상태에서는 -8718.11kN·m로 56.1% 증가한다. 그러나 중간말뚝이 없는 상태에서 N값이 50일 경우 Moment값은 -4491.22kN·m이고 중간말뚝이 있을 경우 -4848.75kN·m로 Gap 차이는 387.53kN·m로 중간말뚝에 따른 Moment 증가율이 8.6% 증가하는데 그쳤다. 그림 3.33 (b)에서 보는 바와 같이 Shear-z값 또한 감소하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.



(a) Moment-y값 분석

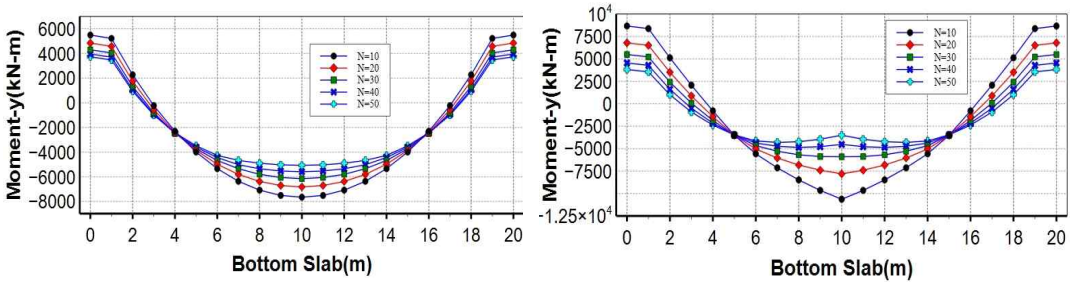


(b) Shear-z값 분석

그림 3.33 토피고 15m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 중앙절점부값

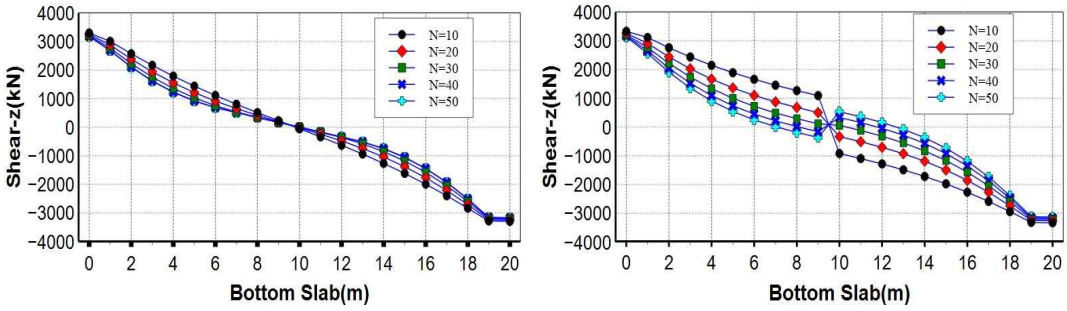
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

토피고 15m이고 폭원이 20m일 경우 표 3.16에서 폭원 20m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.34 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 26.4% 감소하였고 그림 3.35 (a)와 같이 Shear-z 감소값은 0을 보였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.34 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 66.9% 감소하였고 그림 3.35 (b)와 같이 Shear-z값은 57.9% 감소하였다.



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.34 토피고 15m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

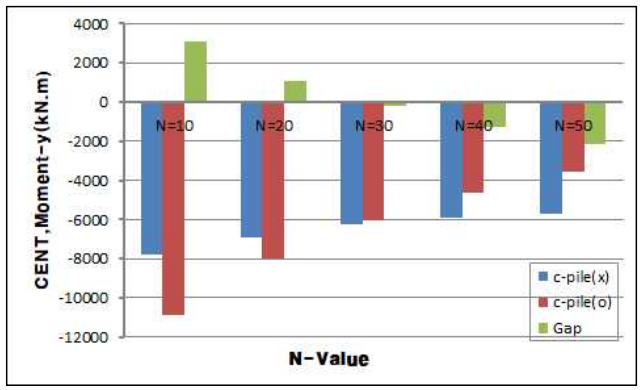
그림 3.35 토피고 15m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙절점에 대한 N값별 반력차를 비교해 보면 Moment는 그림 3.36 (a)와 같이 N값이 10일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 중앙절점의 Moment-y값이 -7766.34kN·m이고 중간말뚝이 있는 상태에서는 -10859.3kN·m로 39.8% 증가하나

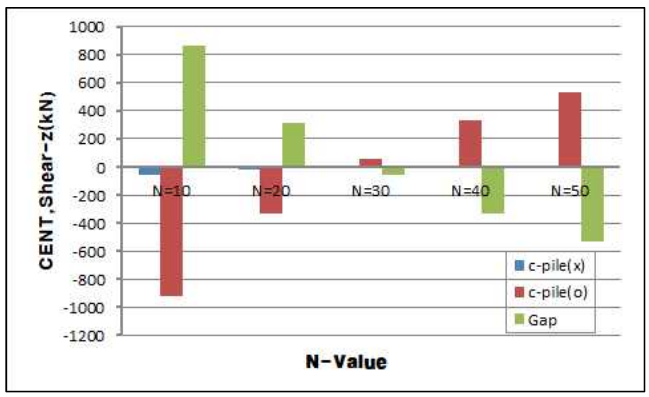
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

N값이 30일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 6228.48kN·m, 중간말뚝이 있는 상태에서 6032.93kN·m로 3.1%증가하는데 그쳐 영향이 없음을 알 수 있다.

N값이 50일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 Moment-y값은 -5716.81kN·m이고 중간말뚝이 있을 경우 -3589.88kN·m로 중간말뚝에 따른 Moment-y값이 37.2% 감소하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다. 그림 3.36 (b)에서 보는 바와 같이 Shear-z값 또한 N=30을 기점으로 역 전단력이 작용하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.



(a) Moment-y값 분석



(b) Shear-z값 분석

그림 3.36 토피고 15m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(4) 토피고 20m일 때 구조해석 결과

토피고 20m일 때 구조물 폭(10m, 16m, 20m), N값(10, 20, 30, 40, 50)에 따라 지반반력계수 값을 계산하고 구조해석을 실시하였다. 해석결과로부터 표 3.17에 N값과 폭원에 따라 중간말뚝(C-PILE)이 있을 경우와 없을 경우의 저판 슬래브에 작용하는 Moment-y값과 Shear-z값을 비교하여 보여주고 있다.

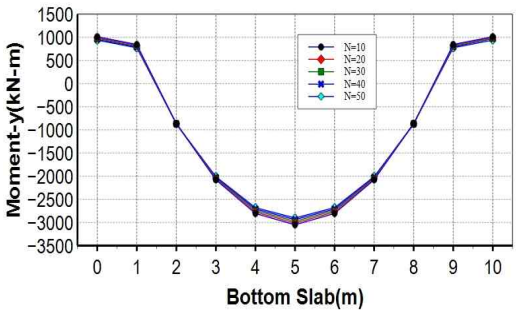
중간말뚝이 없는 상태에서 저판폭원 B=10일 경우 N값에 따른 Moment-y값의 변화가 크게 없으나 저판폭원 B=20일 경우 Moment-y값이 커짐을 알 수 있다. 중간말뚝이 있는 상태에서 저판폭원 B=10일 경우 N값에 따른 Moment-y값이 전반적으로 커짐을 알 수 있으나 저판폭원 B=20일 때 Moment-y값은 N값이 증가할수록 작아짐을 알 수 있다.

표 3.17 토피고 20m일 때 구조물 폭원과 N값에 따른 중앙절점부 Moment-y와 Shear-z값

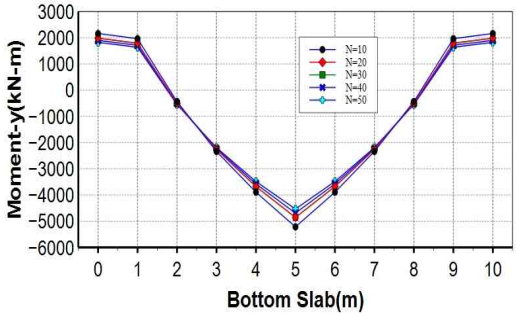
구분		Moment-y(kN·m)					Shear-z(kN)				
		N=10	N=20	N=30	N=40	N=50	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
폭원 10M	c-pile(x)	-3084.97	-3046.77	-3009.37	-2972.74	-2936.86	-125.53	-120.2	-114.98	-109.88	-104.89
	c-pile(o)	-5297.24	-5109.06	-4931.59	-4763.97	-4605.4	-1201.83	-1128.06	-1058.59	-993.06	-931.16
	Gap	2212.27	2062.29	1922.22	1791.23	1668.54	1076.3	1007.86	943.61	883.18	826.27
폭원 16M	c-pile(x)	-7145.5	-6748.02	-6384.84	-6051.79	-5721.11	-97.56	-74.17	-52.93	-33.58	-14.61
	c-pile(o)	-11095.3	-9455.95	-8148.49	-7082.69	-6137.86	-1409.67	-993.96	-664.71	-398.37	-164.89
	Gap	3949.77	2707.93	1763.65	1030.9	416.75	1312.11	919.79	611.78	364.79	150.28
폭원 20M	c-pile(x)	-9954.74	-8868.4	-7992.81	-7574.13	-7348.73	-69.74	-27.93	0	0	0
	c-pile(o)	-13857.5	-10175.1	-7685.8	-5899.6	-4562.17	-1161.65	-410.23	89.02	439.95	696.45
	Gap	3902.71	1306.69	-307.01	-1674.53	-2786.56	1091.91	382.3	-89.02	-439.95	-696.45

지하구조물을 설치함에 있어 토피고 20m에 구조물 폭원 10m를 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.17에서 폭원 10m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.37 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 4.8% 감소하였고 그림 3.38 (a)와 같이 Shear-z값은 16.4% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝에 집중하중으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.37 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 13.1% 감소하였고 그림 3.38 (b)와 같이 Shear-z값은 22.5% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

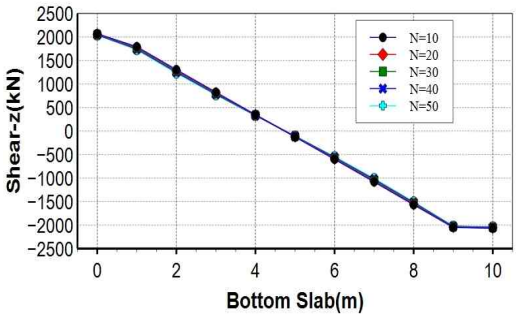


(a) 중간말뚝이 없을 경우

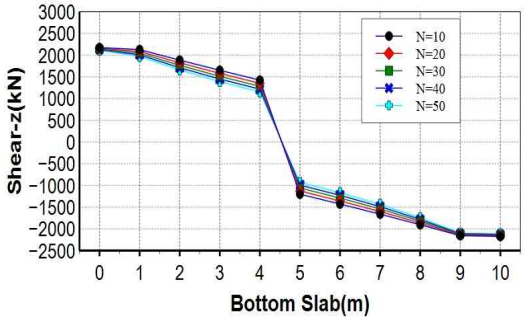


(b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.37 토피고 20m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교



(a) 중간말뚝이 없을 경우

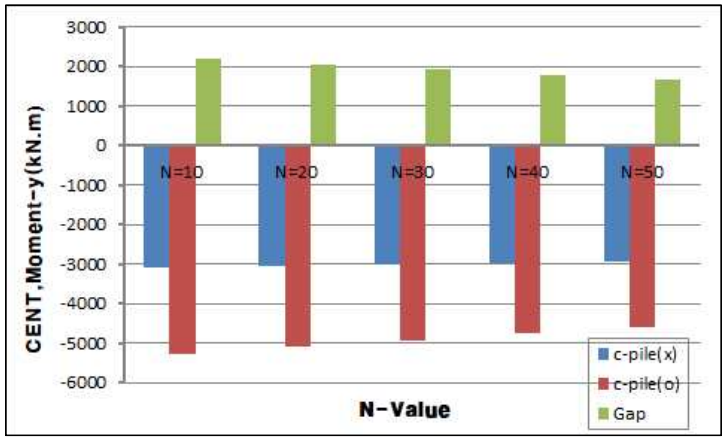


(b) 중간말뚝이 있을 경우

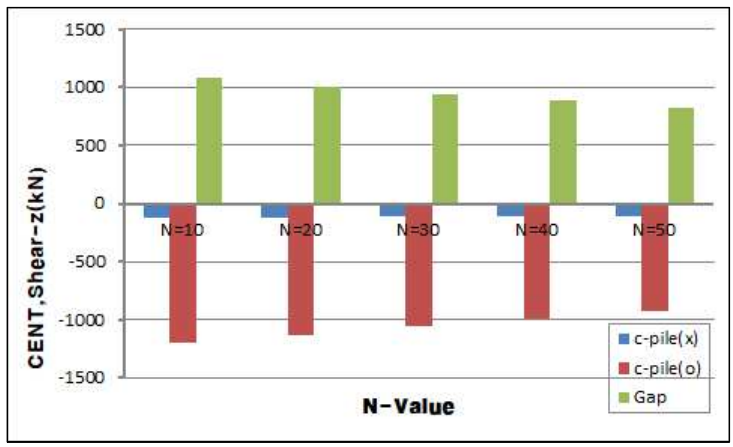
그림 3.38 토피고 20m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력차를 비교해 보면 중앙절점 Moment는 그림 3.39(a)에서 보는바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y 값이 중간말뚝이 없을 경우 -3084.97kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 71.7% 증가한 -5297.24kN·m임을 알 수 있고 N값이 50일 경우에도 중간말뚝이 없을 경우 -2936.86kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 56.8% 증가한 -4605.4kN·m로 영향을 미치고 있고 Shear-z값 또한 그림 3.39 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 증가함에 따라 완만하게 감소하기는 하나 구조물 저판에 전반적인 영향을 주고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석

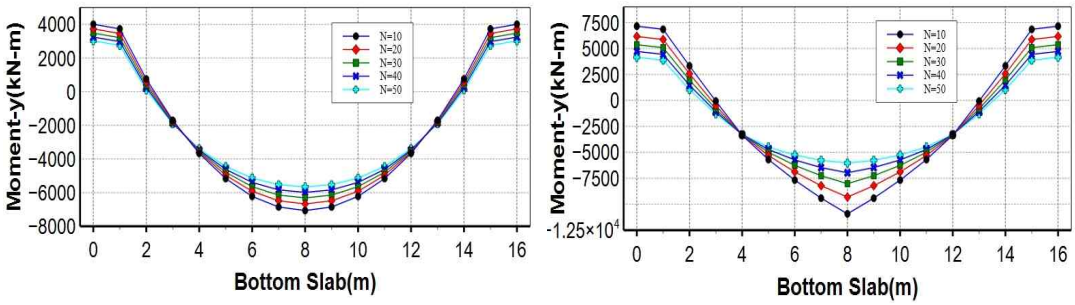


(b) Shear-z값 분석

그림 3.39 토피고 20m, 폭원 10m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

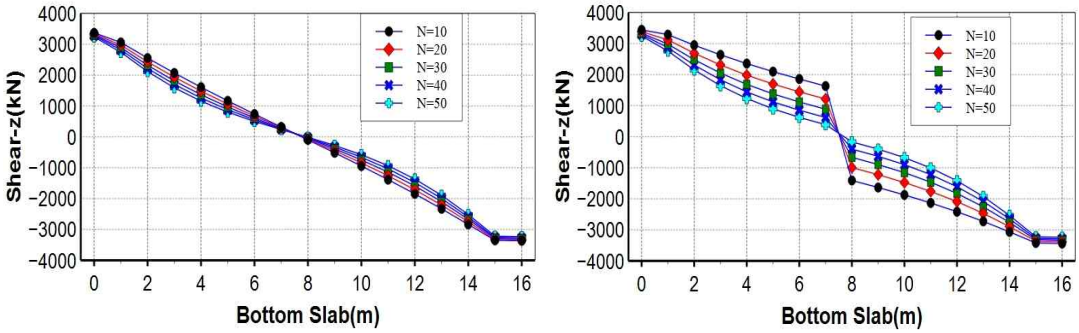
토피고 20m에 폭원이 16m일 경우 표 3.17에서 폭원 16m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.40 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 19.9% 감소하였고 그림 3.41 (a)와 같이 Shear-z값은 85.0% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.40 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 44.7% 감소하였고 그림 3.41 (b)와 같이 Shear-z값은 88.3% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.40 토피고 20m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교



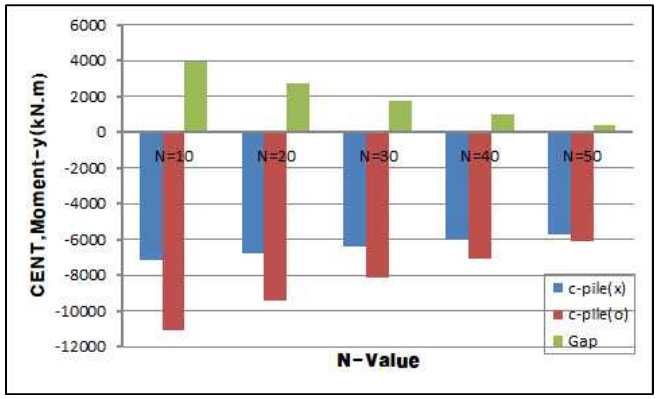
(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.41 토피고 20m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

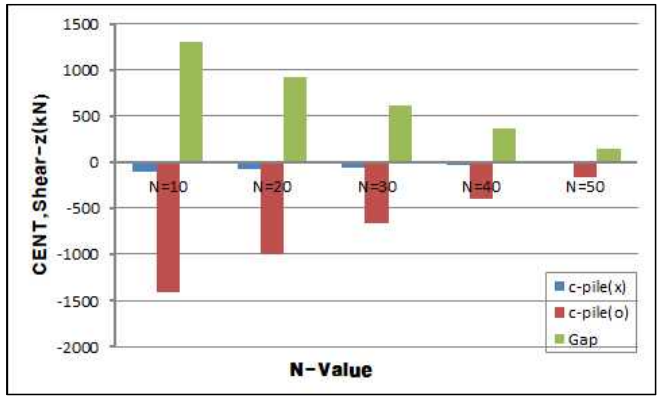
중앙 절점에 대한 N값별 반력차를 비교해보면 중앙 절점 Moment-y는 그림 3.42 (a)에서 N값이 커질수록 감소폭 또한 커지는 경향을 보이고 있으며 N값이 10일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 중앙절점의 Moment-y값이 -7145.5kN·m이고 중간말뚝이 있는 상태에서는 -11095.3kN·m로 55.3% 증가하였다.

N값이 50일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 Moment-y값은 -5721.11kN·m이고 중간말뚝이 있을 경우 -6137.86kN·m로 Gap 차이는 416.75kN·m로 중간말뚝에 따른 Moment 증가율이 7.3% 증가하는데 그치고 있고 그림 3.42 (b)에서 보는 바와 같이 Shear-z값 또한 감소하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석

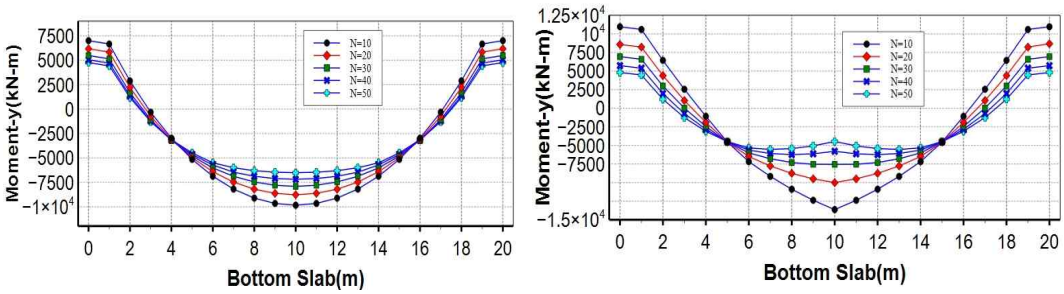


(b) Shear-z값 분석

그림 3.42 토피고 20m, 폭원 16m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

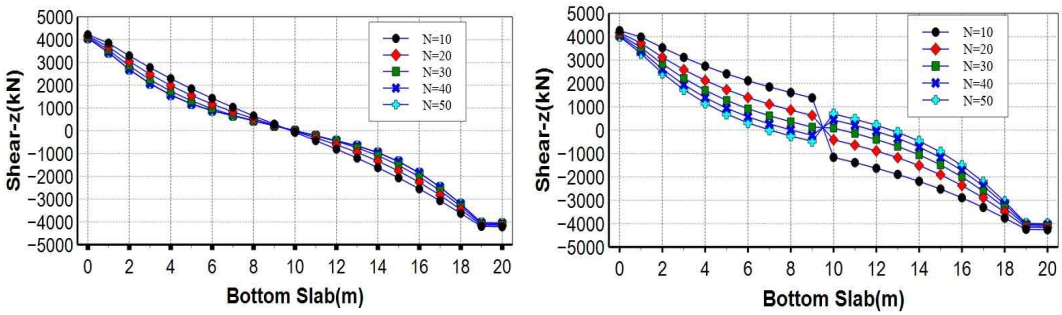
토피고 20m이고 폭원이 20m일 경우 표 3.17에서 폭원 20m일 때 N값에 따른 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 그림 3.34 (a)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 26.2% 감소하였고 그림 3.35 (a)와 같이 Shear-z 감소값은 0을 보였다. 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝으로 작용해 중앙 절점에 최대응력점이 발생하여 그림 3.34 (b)와 같이 N값의 최저치와 최고치에 따라 Moment-y값은 67.1% 감소하였고 그림 3.35 (b)와 같이 Shear-z값은 60.0% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.43 토피고 20m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교



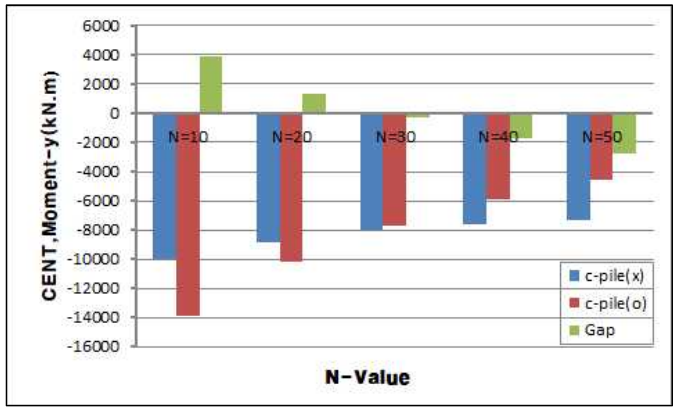
(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.44 토피고 20m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

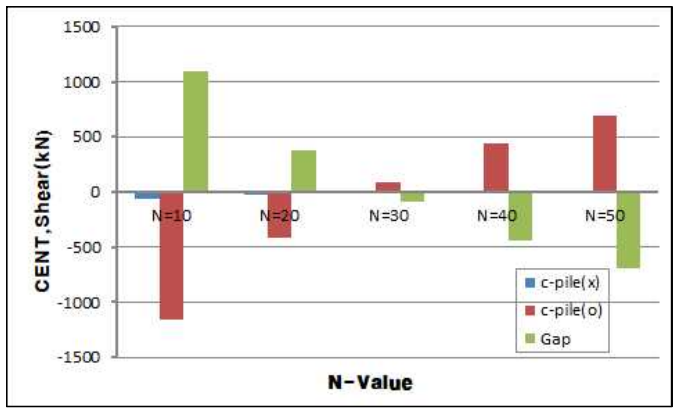
중앙절점에 대한 N값별 반력차를 비교해 보면 Moment는 그림 3.45 (a)와 같이 N값이 10일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 중앙절점의 Moment-y값이 -9954.74kN·m이고 중간말뚝이 있는 상태에서는 -13857.5kN·m로 39.2% 증가하나 N값이 30일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 7992.81kN·m, 중간말뚝이 있는 상태에서 7685.8kN·m로 3.8%증가하는데 그쳐 영향이 없음을 알 수 있다.

N값이 50일 경우 중간말뚝이 없는 상태에서 Moment-y값은 -7348.73kN·m이고 중간말뚝이 있을 경우 -4562.17kN·m로 중간말뚝에 따른 Moment-y값이 37.9% 감소하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있고 그림 3.45 (b)에서 보는 바와 같이 Shear-z값 또한 N=30을 기점으로 역 전단력이 작용하여 구조물 저판에 미치는 영향이 작아짐을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석



(b) Shear-z값 분석

그림 3.45 토피고 20m, 폭원 20m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.4 슬래브 두께에 따른 해석결과

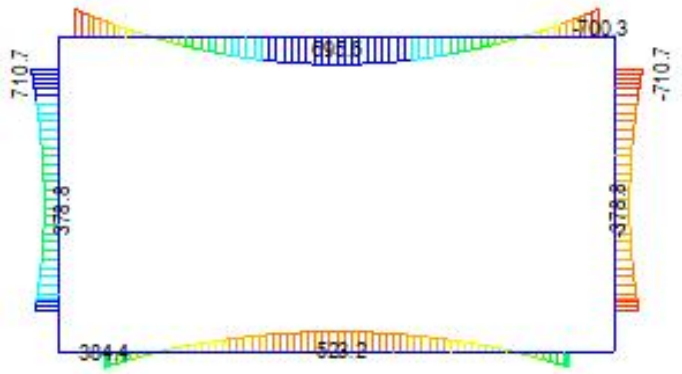
3.4.1 구조물 설치조건이 최저치일 때 해석결과

중간말뚝이 없는 상태에서 토피고 5m와 슬래브 폭원 10m를 고정한 상태에서 조건값 최저치인 N=10, T=0.4일 경우를 가정하여 지하구조물에 미치는 절점부 단면력을 표 3.3의 하중조합 값에 상시 조건상태로 계산하여 본 결과 절점별 단면력 값은 표 3.18과 같으며, 이에 따른 구조체 휨모멘트도(Bending Moment Diagram, B.M.D)는 그림 3.46 (a)와 같이 표시되어지고 구조체 전단력도(Shear Force Diagram, S.F.D)는 그림 3.46 (b)와 같이 표시되어 진다.

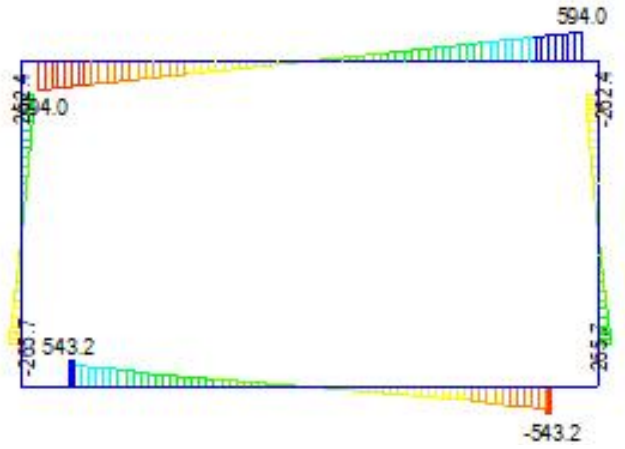
표 3.18 중간말뚝이 없을 경우 N=10, t=0.4 조건일 때 단면력값

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y(kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y(kN·m)	Moment-z (kN·m)
1	LDC by LCB1(U) (상시)	I[1]	-314.81	0	-593.99	0	-700.27	0
2	LDC by LCB1(U) (상시)	I[2]	-314.81	0	-480.25	0	-216.86	0
3	LDC by LCB1(U) (상시)	I[3]	-314.81	0	-343.04	0	230.06	0
4	LDC by LCB1(U) (상시)	I[4]	-314.81	0	-205.82	0	528.01	0
5	LDC by LCB1(U) (상시)	I[5]	-314.81	0	-68.61	0	676.99	0
6	LDC by LCB1(U) (상시)	I[6]	-314.81	0	68.61	0	676.99	0
7	LDC by LCB1(U) (상시)	I[7]	-314.81	0	205.82	0	528.01	0
8	LDC by LCB1(U) (상시)	I[8]	-314.81	0	343.04	0	230.06	0
9	LDC by LCB1(U) (상시)	I[9]	-314.81	0	480.25	0	-216.86	0
10	LDC by LCB1(U) (상시)	I[11]	-385.2	0	543.16	0	384.38	0
11	LDC by LCB1(U) (상시)	I[12]	-385.2	0	442.33	0	339.91	0
12	LDC by LCB1(U) (상시)	I[13]	-385.2	0	300.98	0	-61.33	0
13	LDC by LCB1(U) (상시)	I[14]	-385.2	0	200.65	0	-317.94	0
14	LDC by LCB1(U) (상시)	I[15]	-385.2	0	100.33	0	-471.91	0
15	LDC by LCB1(U) (상시)	I[16]	-385.2	0	0	0	-523.24	0
16	LDC by LCB1(U) (상시)	I[17]	-385.2	0	-100.33	0	-471.91	0
17	LDC by LCB1(U) (상시)	I[18]	-385.2	0	-200.65	0	-317.94	0
18	LDC by LCB1(U) (상시)	I[19]	-385.2	0	-342	0	-61.33	0
19	LDC by LCB1(U) (상시)	I[20]	-385.2	0	-535.07	0	339.91	0
20	LDC by LCB1(U) (상시)	I[1]	-631.91	0	262.36	0	710.75	0
21	LDC by LCB1(U) (상시)	I[22]	-640.73	0	234.19	0	636.23	0
22	LDC by LCB1(U) (상시)	I[23]	-652.83	0	104.69	0	425	0
23	LDC by LCB1(U) (상시)	I[24]	-664.92	0	-46.78	0	387.02	0
24	LDC by LCB1(U) (상시)	I[25]	-677.02	0	-220.22	0	549.41	0
25	LDC by LCB1(U) (상시)	I[10]	-631.91	0	-262.36	0	-710.75	0
26	LDC by LCB1(U) (상시)	I[26]	-640.73	0	-234.19	0	-636.23	0
27	LDC by LCB1(U) (상시)	I[27]	-652.83	0	-104.69	0	-425	0
28	LDC by LCB1(U) (상시)	I[28]	-664.92	0	46.78	0	-387.02	0
29	LDC by LCB1(U) (상시)	I[29]	-677.02	0	220.22	0	-549.41	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.46 중간말뚝이 없을 경우 N=10, t=0.4 조건일 때 구조체 단면력

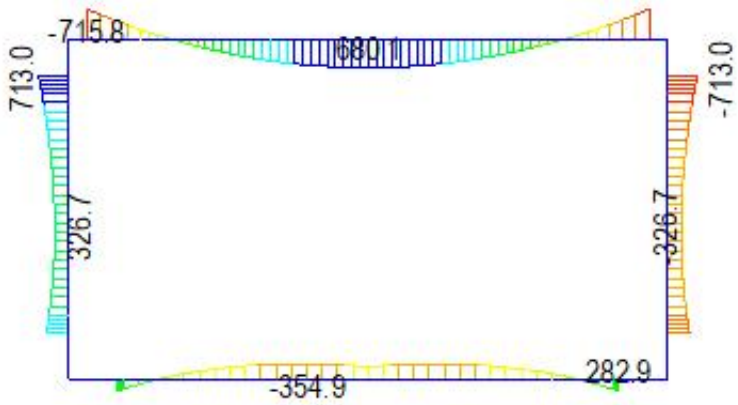
동일 조건에서 중간말뚝이 있을 경우 중간말뚝이 저판 중앙절점부의 단단한 지반에 고정되어 있다는 가정하에 지하구조물에 미치는 절점부 단면력을 표 3.3의 하중조합 값을 고려하여 상시 조건상태로 계산하여 본 결과 절점별 단면력 값은 표 3.19와 같으며, 이에 따른 휨모멘트도(B.M.D)는 그림 3.47 (a)와 같이 표시되어지고 구조체 전단력도(S.F.D)는 그림 3.47 (b)와 같이 표시되어 지며, 중간말뚝으로 인해 구조물 저판 단면력 값이 감소함을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

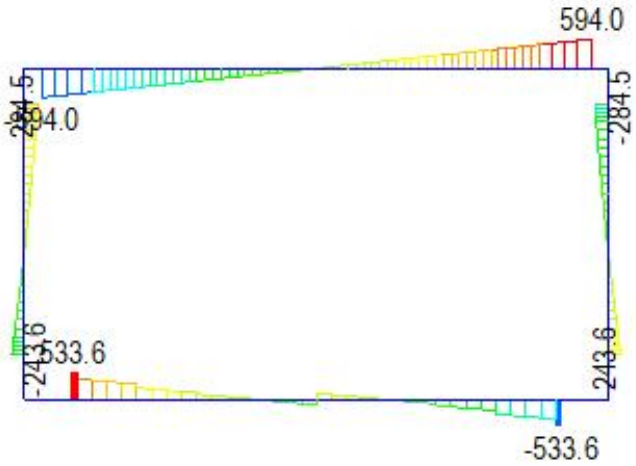
표 3.19 중간말뚝이 있을 경우 N=10, T=0.4 조건일 때 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z(kN·m)
1	LDC by LCB1(U) (상시)	I[1]	-336.92	0	-593.99	0	-715.78	0
2	LDC by LCB1(U) (상시)	I[2]	-336.92	0	-480.25	0	-232.37	0
3	LDC by LCB1(U) (상시)	I[3]	-336.92	0	-343.04	0	214.56	0
4	LDC by LCB1(U) (상시)	I[4]	-336.92	0	-205.82	0	512.51	0
5	LDC by LCB1(U) (상시)	I[5]	-336.92	0	-68.61	0	661.48	0
6	LDC by LCB1(U) (상시)	I[6]	-336.92	0	68.61	0	661.48	0
7	LDC by LCB1(U) (상시)	I[7]	-336.92	0	205.82	0	512.51	0
8	LDC by LCB1(U) (상시)	I[8]	-336.92	0	343.04	0	214.56	0
9	LDC by LCB1(U) (상시)	I[9]	-336.92	0	480.25	0	-232.37	0
10	LDC by LCB1(U) (상시)	I[11]	-363.09	0	533.6	0	282.86	0
11	LDC by LCB1(U) (상시)	I[12]	-363.09	0	407.16	0	239.17	0
12	LDC by LCB1(U) (상시)	I[13]	-363.09	0	229.59	0	-126.08	0
13	LDC by LCB1(U) (상시)	I[14]	-363.09	0	94.39	0	-309.65	0
14	LDC by LCB1(U) (상시)	I[15]	-363.09	0	-14.21	0	-354.9	0
15	LDC by LCB1(U) (상시)	I[16]	-363.09	0	114.54	0	-289.04	0
16	LDC by LCB1(U) (상시)	I[17]	-363.09	0	5.94	0	-354.9	0
17	LDC by LCB1(U) (상시)	I[18]	-363.09	0	-129.26	0	-309.65	0
18	LDC by LCB1(U) (상시)	I[19]	-363.09	0	-306.83	0	-126.08	0
19	LDC by LCB1(U) (상시)	I[20]	-363.09	0	-525.51	0	239.17	0
20	LDC by LCB1(U) (상시)	I[1]	-631.91	0	284.47	0	712.99	0
21	LDC by LCB1(U) (상시)	I[22]	-640.73	0	256.3	0	631.84	0
22	LDC by LCB1(U) (상시)	I[23]	-652.83	0	126.8	0	393.33	0
23	LDC by LCB1(U) (상시)	I[24]	-664.92	0	-24.66	0	328.09	0
24	LDC by LCB1(U) (상시)	I[25]	-677.02	0	-198.11	0	463.21	0
25	LDC by LCB1(U) (상시)	I[10]	-631.91	0	-284.47	0	-712.99	0
26	LDC by LCB1(U) (상시)	I[26]	-640.73	0	-256.3	0	-631.84	0
27	LDC by LCB1(U) (상시)	I[27]	-652.83	0	-126.8	0	-393.33	0
28	LDC by LCB1(U) (상시)	I[28]	-664.92	0	24.66	0	-328.09	0
29	LDC by LCB1(U) (상시)	I[29]	-677.02	0	198.11	0	-463.21	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.47 중간말뚝이 있을 경우 N=10, t=0.4 조건일 때 구조체 단면력

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

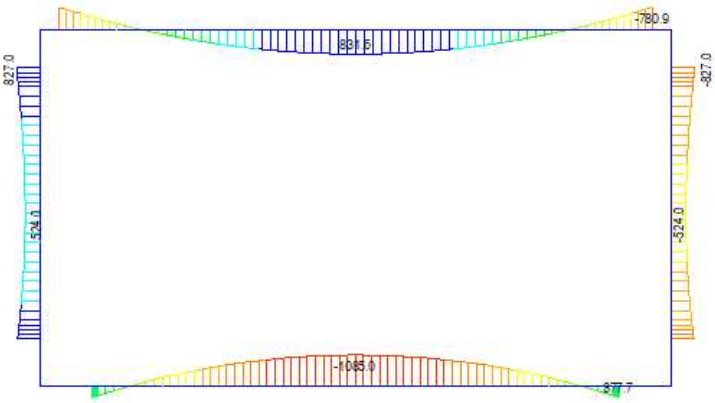
3.4.2 구조물 설치조건이 최대치일 때 해석결과

중간말뚝이 없는 상태에서 토피고 5m와 슬래브 폭원 10m를 고정한 상태에서 조건값 최대치인 N=50, t=1.2일 경우를 가정하여 지하구조물에 미치는 절점부 단면력을 표 3.3의 하중조합 값에 상시 조건상태로 계산하여 본 결과 절점별 단면력 값은 표 3.20과 같으며, 이에 따른 구조체 휨모멘트도(B.M.D)는 그림 3.48 (a)와 같이 표시되어지고 구조체 전단력도(S.F.D)는 그림 3.48 (b)와 같이 표시되어 진다.

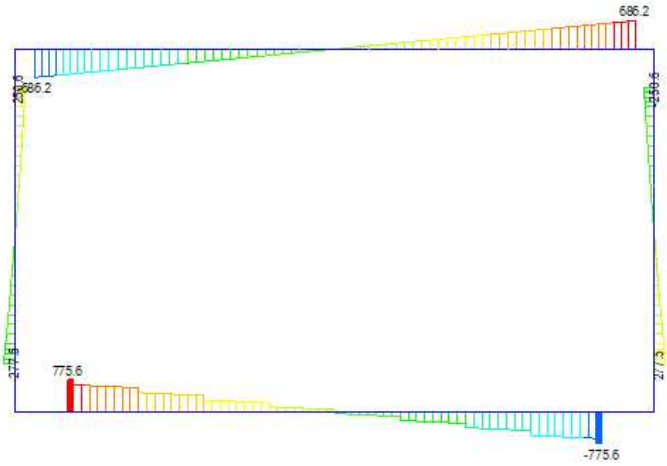
표 3.20 중간말뚝이 없을 경우 N=50, t=1.2 조건일 때 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z (kN·m)
1	LDC by LCB1(U) (상시)	I[1]	-303.02	0	-686.18	0	-780.93	0
2	LDC by LCB1(U) (상시)	I[2]	-303.02	0	-554.78	0	-222.49	0
3	LDC by LCB1(U) (상시)	I[3]	-303.02	0	-396.27	0	293.79	0
4	LDC by LCB1(U) (상시)	I[4]	-303.02	0	-237.76	0	637.98	0
5	LDC by LCB1(U) (상시)	I[5]	-303.02	0	-79.25	0	810.08	0
6	LDC by LCB1(U) (상시)	I[6]	-303.02	0	79.25	0	810.08	0
7	LDC by LCB1(U) (상시)	I[7]	-303.02	0	237.76	0	637.98	0
8	LDC by LCB1(U) (상시)	I[8]	-303.02	0	396.27	0	293.79	0
9	LDC by LCB1(U) (상시)	I[9]	-303.02	0	554.78	0	-222.49	0
10	LDC by LCB1(U) (상시)	I[11]	-397	0	775.55	0	377.66	0
11	LDC by LCB1(U) (상시)	I[12]	-397	0	648.14	0	313.92	0
12	LDC by LCB1(U) (상시)	I[13]	-397	0	460.71	0	-312	0
13	LDC by LCB1(U) (상시)	I[14]	-397	0	285.5	0	-746.16	0
14	LDC by LCB1(U) (상시)	I[15]	-397	0	118.46	0	-1001.05	0
15	LDC by LCB1(U) (상시)	I[16]	-397	0	-45.72	0	-1085.04	0
16	LDC by LCB1(U) (상시)	I[17]	-397	0	-212.77	0	-1001.05	0
17	LDC by LCB1(U) (상시)	I[18]	-397	0	-387.98	0	-746.16	0
18	LDC by LCB1(U) (상시)	I[19]	-397	0	-575.41	0	-312	0
19	LDC by LCB1(U) (상시)	I[20]	-397	0	-769.69	0	313.92	0
20	LDC by LCB1(U) (상시)	I[1]	-729.97	0	250.57	0	827.01	0
21	LDC by LCB1(U) (상시)	I[22]	-756.45	0	222.39	0	756.04	0
22	LDC by LCB1(U) (상시)	I[23]	-792.74	0	92.9	0	559.35	0
23	LDC by LCB1(U) (상시)	I[24]	-829.02	0	-58.57	0	535.92	0
24	LDC by LCB1(U) (상시)	I[25]	-865.31	0	-232.02	0	712.85	0
25	LDC by LCB1(U) (상시)	I[10]	-729.97	0	-250.57	0	-827.01	0
26	LDC by LCB1(U) (상시)	I[26]	-756.45	0	-222.39	0	-756.04	0
27	LDC by LCB1(U) (상시)	I[27]	-792.74	0	-92.9	0	-559.35	0
28	LDC by LCB1(U) (상시)	I[28]	-829.02	0	58.57	0	-535.92	0
29	LDC by LCB1(U) (상시)	I[29]	-865.31	0	232.02	0	-712.85	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.48 중간말뚝이 없을 경우 N=50, t=1.2 조건일 때 구조체 단면력

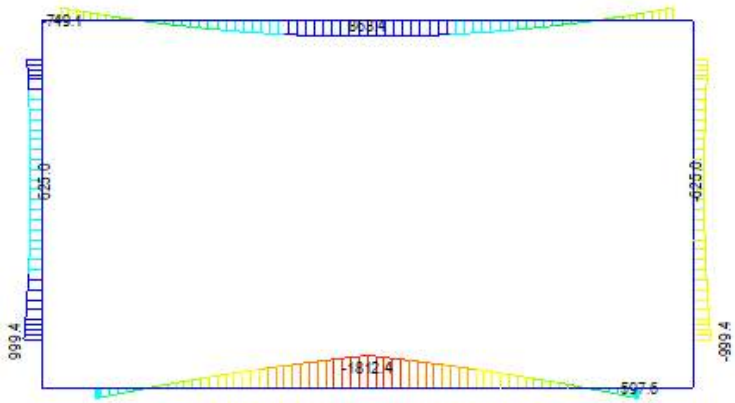
동일 조건에서 중간말뚝이 저판 중앙절점부의 단단한 지반에 고정되어 있다는 가정하에 지하구조물에 미치는 절점부 단면력을 표 3.3의 하중조합 값을 고려하여 상시 조건상태로 계산하여 본 결과 절점별 단면력 값은 표 3.21과 같으며, 이에 따른 휨모멘트도(B.M.D)는 그림 3.49 (a)와 같이 표시되어지고 구조체 전단력도(S.F.D)는 그림 3.49 (b)와 같이 표시되어 지며, 중간말뚝으로 인해 구조물 저판 단면력 값이 증가함을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

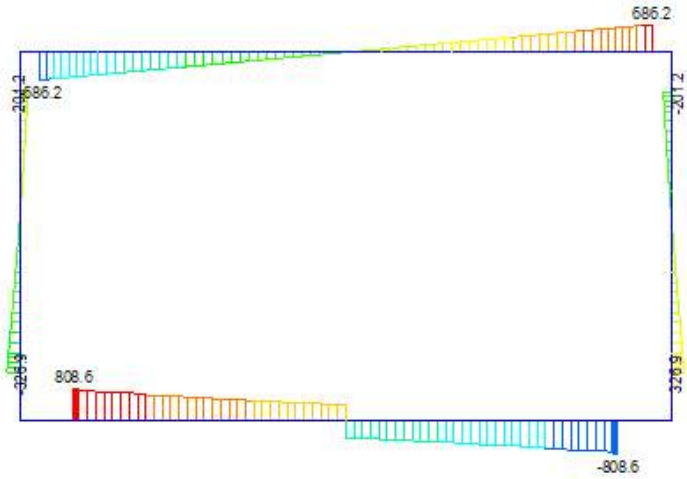
표 3.21 중간말뚝이 있을 경우 N=50, t=1.2 조건일 때 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial (kN)	Shear-y (kN)	Shear-z (kN)	Torsion (kN·m)	Moment-y (kN·m)	Moment-z (kN·m)
1	LDC by LCB1(U) (상시)	I[1]	-253.64	0	-686.18	0	-749.13	0
2	LDC by LCB1(U) (상시)	I[2]	-253.64	0	-554.78	0	-190.7	0
3	LDC by LCB1(U) (상시)	I[3]	-253.64	0	-396.27	0	325.58	0
4	LDC by LCB1(U) (상시)	I[4]	-253.64	0	-237.76	0	669.78	0
5	LDC by LCB1(U) (상시)	I[5]	-253.64	0	-79.25	0	841.87	0
6	LDC by LCB1(U) (상시)	I[6]	-253.64	0	79.25	0	841.87	0
7	LDC by LCB1(U) (상시)	I[7]	-253.64	0	237.76	0	669.78	0
8	LDC by LCB1(U) (상시)	I[8]	-253.64	0	396.27	0	325.58	0
9	LDC by LCB1(U) (상시)	I[9]	-253.64	0	554.78	0	-190.7	0
10	LDC by LCB1(U) (상시)	I[11]	-446.38	0	808.57	0	597.64	0
11	LDC by LCB1(U) (상시)	I[12]	-446.38	0	753.78	0	531.17	0
12	LDC by LCB1(U) (상시)	I[13]	-446.38	0	646.96	0	-202.83	0
13	LDC by LCB1(U) (상시)	I[14]	-446.38	0	556.69	0	-827.54	0
14	LDC by LCB1(U) (상시)	I[15]	-446.38	0	478.66	0	-1359.9	0
15	LDC by LCB1(U) (상시)	I[16]	-446.38	0	-405.92	0	-1812.41	0
16	LDC by LCB1(U) (상시)	I[17]	-446.38	0	-483.95	0	-1359.9	0
17	LDC by LCB1(U) (상시)	I[18]	-446.38	0	-574.22	0	-827.54	0
18	LDC by LCB1(U) (상시)	I[19]	-446.38	0	-681.04	0	-202.83	0
19	LDC by LCB1(U) (상시)	I[20]	-446.38	0	-802.71	0	531.17	0
20	LDC by LCB1(U) (상시)	I[1]	-729.97	0	201.19	0	824.85	0
21	LDC by LCB1(U) (상시)	I[22]	-756.45	0	173.01	0	768.69	0
22	LDC by LCB1(U) (상시)	I[23]	-792.74	0	43.52	0	632.9	0
23	LDC by LCB1(U) (상시)	I[24]	-829.02	0	-107.95	0	670.37	0
24	LDC by LCB1(U) (상시)	I[25]	-865.31	0	-281.4	0	908.21	0
25	LDC by LCB1(U) (상시)	I[10]	-729.97	0	-201.19	0	-824.85	0
26	LDC by LCB1(U) (상시)	I[26]	-756.45	0	-173.01	0	-768.69	0
27	LDC by LCB1(U) (상시)	I[27]	-792.74	0	-43.52	0	-632.9	0
28	LDC by LCB1(U) (상시)	I[28]	-829.02	0	107.95	0	-670.37	0
29	LDC by LCB1(U) (상시)	I[29]	-865.31	0	281.4	0	-908.21	0

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.49 중간말뚝이 있을 경우 N=50, t=1.2 조건일 때 구조체 단면력

3.4.3 중간말뚝 유무에 따른 구조물 저판 단면력 해석결과

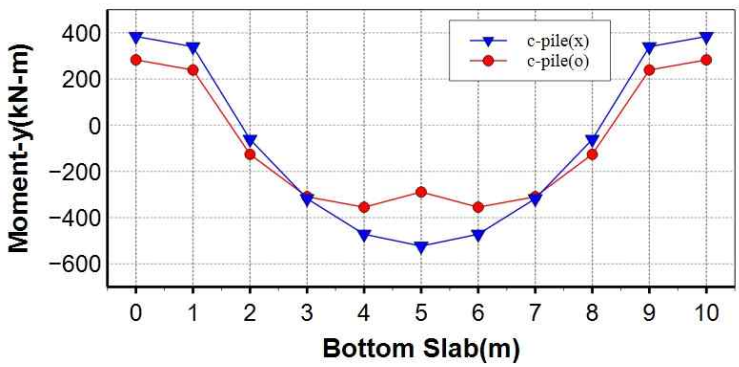
중간말뚝 유무에 따른 구조물 저판에 미치는 단면력을 분석하기 위해 구조물 설치조건의 최저치인 N=10, t=0.4인 조건값에서 중간말뚝이 없을 경우와 있을 경우를 표 3.22과 같이 비교하여 보면 구조물에 작용하는 단면력 중 저판에 변화가 있음을 확인할 수 있다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

구조물 저판의 단면력만을 비교하여 보면 그림 3.50 (a) 휨모멘트도(B.M.D)와 그림 3.50 (b) 전단력도(S.F.D)에서 보는 바와 같이 구조물 저판 중앙절점부 Moment-y값과 Shear-z값에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 특히 중앙절점부 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 -523.24kN·m에서 중간말뚝이 있는 경우 -289.04kN·m로 44.8% 감소되었다.

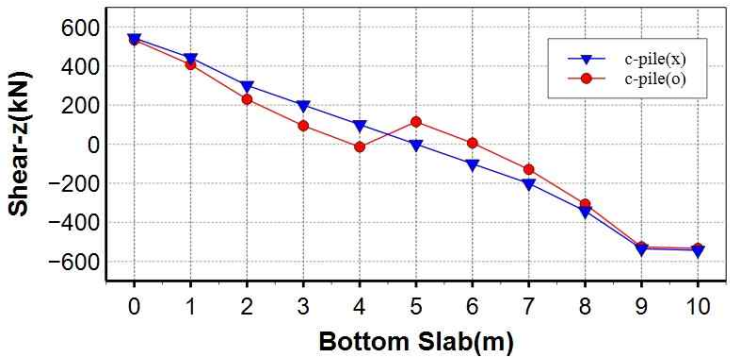
표 3.22 N=10, t=0.4 조건일 때 저판 단면력 값

Elem	Load	Part	Axial(kN)		Shear-z(kN)		Moment-y(kN·m)	
			pile(X)	pile(0)	pile(X)	pile(0)	pile(X)	pile(0)
10	CBC:LCB1(U).(상시)	I[11]	-385.2	-363.09	543.16	533.6	384.38	282.86
11		I[12]	-385.2	-363.09	442.33	407.16	339.91	239.17
12		I[13]	-385.2	-363.09	300.98	229.59	-61.33	-126.08
13		I[14]	-385.2	-363.09	200.65	94.39	-317.94	-309.65
14		I[15]	-385.2	-363.09	100.33	-14.21	-471.91	-354.9
15		I[16]	-385.2	-363.09	0	114.54	-523.24	-289.04
16		I[17]	-385.2	-363.09	-100.33	5.94	-471.91	-354.9
17		I[18]	-385.2	-363.09	-200.65	-129.26	-317.94	-309.65
18		I[19]	-385.2	-363.09	-342	-306.83	-61.33	-126.08
19		I[20]	-385.2	-363.09	-535.07	-525.51	339.91	239.17
		J[21]	-385.2	-363.09	-543.16	-533.6	384.38	282.86



(a) 휨모멘트도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(b) 전단력도

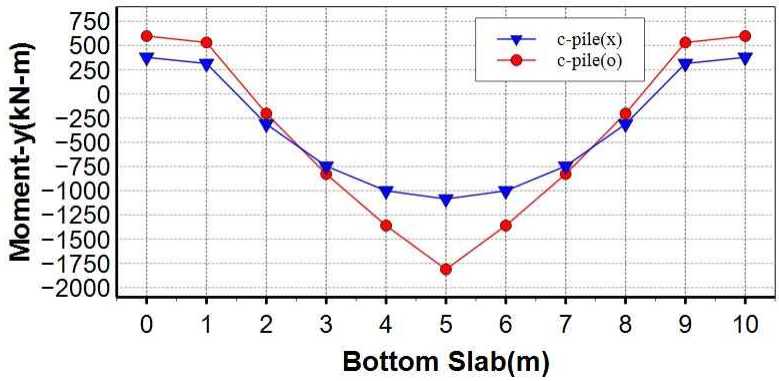
그림 3.50 N=10, t=0.4 조건일 때 구조체 저판 단면력

구조물 설치조건의 최대치인 N=50, t=1.2 조건일 때 중간말뚝이 없을 경우와 있을 경우를 표 3.23과 같이 비교하여 보면 구조물에 작용하는 단면력 중 저판에 변화가 있음을 확인할 수 있으며, 구조물 저판의 단면력만을 비교하여 보면 그림 3.51 (a) 휨모멘트도(B.M.D)와 그림 3.51 (b) 전단력도(S.F.D)에서 보는바와 같이 구조물 저판 중앙절점부 Moment-y과 Shear-z값에 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 특히 중앙절점부 Moment-y값이 중간말뚝이 없는 경우 -1085.04kN·m에서 중간말뚝이 있는 경우 -1812.41kN·m로 67% 증가하였다.

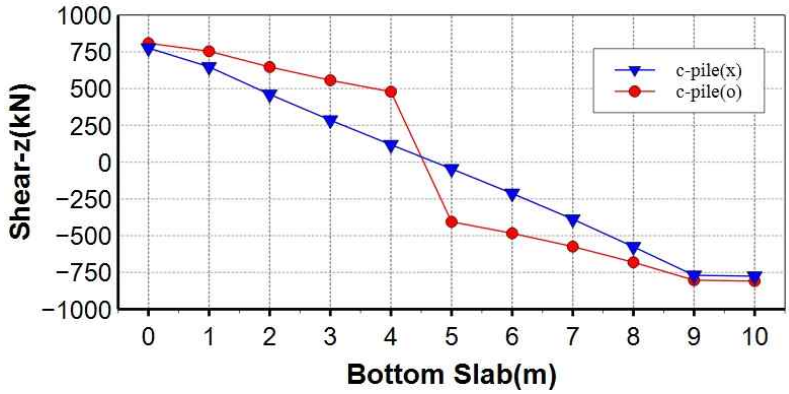
표 3.23 N=50, t=1.2 조건일 때 저판 단면력값

Elem	Load	Part	Axial(kN)		Shear-z(kN)		Moment-y(kN·m)	
			pile(X)	pile(0)	pile(X)	pile(0)	pile(X)	pile(0)
10	CBC:LCB1(U).(상시)	I[11]	-397	-446.38	775.55	808.57	377.66	597.64
11		I[12]	-397	-446.38	648.14	753.78	313.92	531.17
12		I[13]	-397	-446.38	460.71	646.96	-312	-202.83
13		I[14]	-397	-446.38	285.5	556.69	-746.16	-827.54
14		I[15]	-397	-446.38	118.46	478.66	-1001.05	-1359.9
15		I[16]	-397	-446.38	-45.72	-405.92	-1085.04	-1812.41
16		I[17]	-397	-446.38	-212.77	-483.95	-1001.05	-1359.9
17		I[18]	-397	-446.38	-387.98	-574.22	-746.16	-827.54
18		I[19]	-397	-446.38	-575.41	-681.04	-312	-202.83
19		I[20]	-397	-446.38	-769.69	-802.71	313.92	531.17
		J[21]	-397	-446.38	775.55	808.57	377.66	597.64

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

그림 3.51 N=50, t=1.2 조건일 때 구조체 저판 단면력

3.4.4 슬래브 두께 변화에 따른 구조물 저판 단면력 해석결과

해석조건은 토피고 5m와 구조물 폭원 10m로 고정한 상태에서 슬래브 두께를 0.4m단위로 하여 0.4m에서 1.2m까지 크기로 가정 하였을 때 N값(N = 10, 20, 30, 40, 50)에 따라 지반반력계수에 따른 값을 적용하여 구조물 폭원에 따라 하부 절점을 1m 간격으로 해서 구조해석을 하였으며, 표 3.24와 같이 중간말뚝(C-PILE)이 있을 경우와 없을 경우의 저판 슬래브에 작용하는 Moment-y값과 Shear-z값을 비교 하였다.

중간말뚝 유무에 따른 저판 중앙 절점부의 단면력은 슬래브 두께 0.4m에서는 N값에 따라 전반적으로 감소하였고 슬래브 두께 0.6m에서 N=10, 20, 30, 40, 50일

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

때와 슬래브 두께 0.8m에서 증가폭이 미미한 N=50일 경우를 제외하면 슬래브 두께가 두꺼워질수록 중간말뚝으로 인한 영향 또한 증가함을 알 수 있었다.

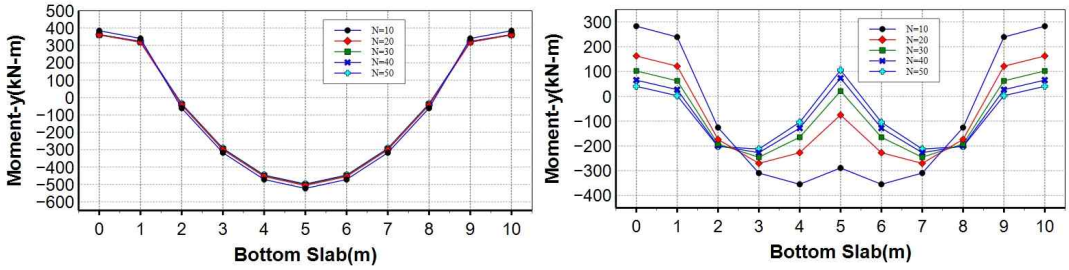
표 3.24 폭원 10M일 때 슬래브 두께별 N값에 따른 중앙절점부 Moment-y와 Shear-z값

슬래브두께		Moment-y(kN·m)					Shear-z(kN)				
		N=10	N=20	N=30	N=40	N=50	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
0.4 M	c-pile(x)	-523.-24	-506.28	-502.53	-500.23	-497.97	0	0	0	0	0
	c-pile(o)	-289.04	-75.28	21.03	73.30	105.74	114.54	199.01	232.2	247.31	255.96
	Gap	-234.2	-431.0	-523.56	-573.53	-603.71	-114.54	-199.01	-232.2	-247.31	-255.96
0.6 M	c-pile(x)	-645.69	-570.28	-540.2	-522.63	-517.21	-12.25	0	0	0	0
	c-pile(o)	-803.45	-565.48	-409.28	-299.57	-218.79	-99.02	2.74	68.31	113.35	145.64
	Gap	157.76	-4.8	-130.92	-223.06	-298.42	86.77	-2.74	-68.31	-113.35	-145.64
0.8 M	c-pile(x)	-752.2	-710.06	-671.59	-636.35	-603.96	-28.08	-21.05	-14.66	-8.84	-3.52
	c-pile(o)	-1166.64	-989.2	-848.54	-734.43	-640.14	-250.23	-173.46	-112.97	-64.24	-24.28
	Gap	414.44	279.14	176.95	98.08	36.18	222.15	152.41	98.31	55.4	20.76
1.0 M	c-pile(x)	-831.59	-806.13	-781.92	-758.87	-736.9	-39.24	-35.0	-30.98	-27.16	-23.54
	c-pile(o)	-1444.71	-1319.63	-1210.62	-1114.81	-1029.96	-364.18	-309.92	-262.77	-221.46	-185.01
	Gap	613.12	513.5	428.7	355.94	293.06	324.94	274.92	231.79	194.3	161.47
1.2 M	c-pile(x)	-1139.42	-1125.4	-1111.66	-1098.22	-1085.04	-53.32	-51.36	-49.44	-47.56	-45.72
	c-pile(o)	-2079.04	-2006.52	-1938.13	-1873.53	-1812.41	-510.45	-481.97	-455.14	-429.83	-405.92
	Gap	939.62	881.12	826.47	775.31	727.37	457.13	430.61	405.7	382.27	360.2

(1) 슬래브 두께 0.4m일 때 구조해석 결과

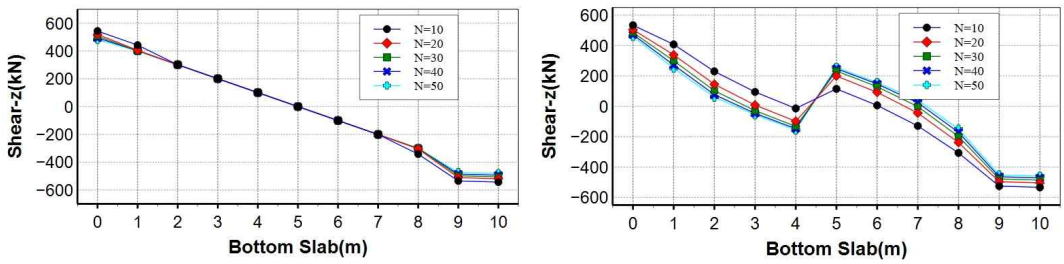
지하구조물을 설치함에 있어 토피 5m에 구조물 폭원 10m를 고정값으로 하고 슬래브 두께를 0.4m로 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.24 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 Moment-y값은 그림 3.52 (a)와 같이 N값의 최저치보다 최고치에서 4.8% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.53(a)와 같이 변화가 없다. 중간말뚝이 있을 경우 Moment-y값은 그림 3.52(b)와 같이 자중값 감소와 부력의 증가로 인해 N값과 관계없이 전반적으로 감소하고 있으며, N값의 최저치보다 최고치에서 136.6% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.53 (b)와 같이 123.5% 증가하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.52 슬래브 두께 0.4m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

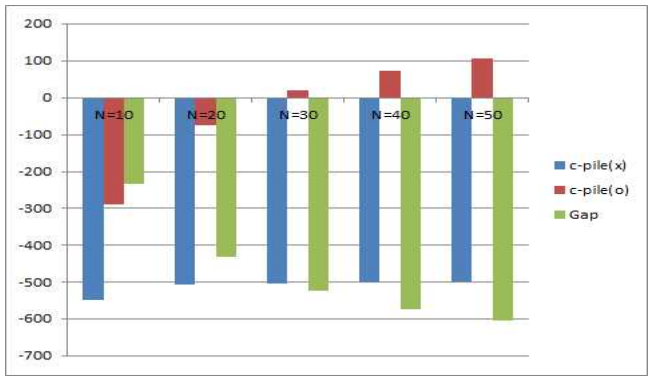


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

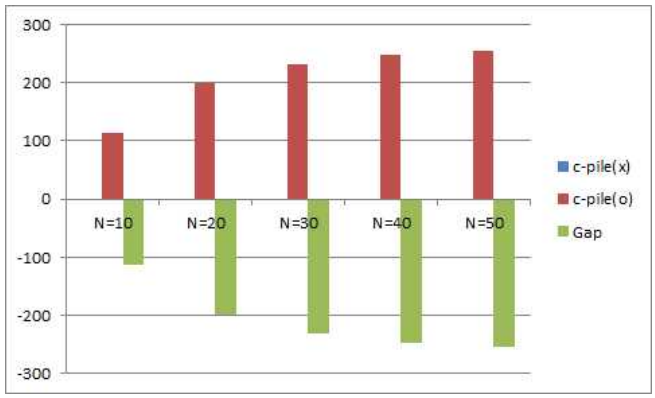
그림 3.53 슬래브 두께 0.4m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력차를 비교해 보면 중앙 절점 Moment는 그림 3.54 (a)에서 보는바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 -523.24kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 44.8% 감소한 -289.04kN·m임을 알 수 있고 N값이 50일 경우에도 중간말뚝이 없을 경우 -497.97kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 121.2% 감소한 -105.74kN·m로 영향이 감소함을 알 수 있고 Shear-z값 또한 그림 3.54 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 증가함에 따라 역전단력 또한 증가함을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석



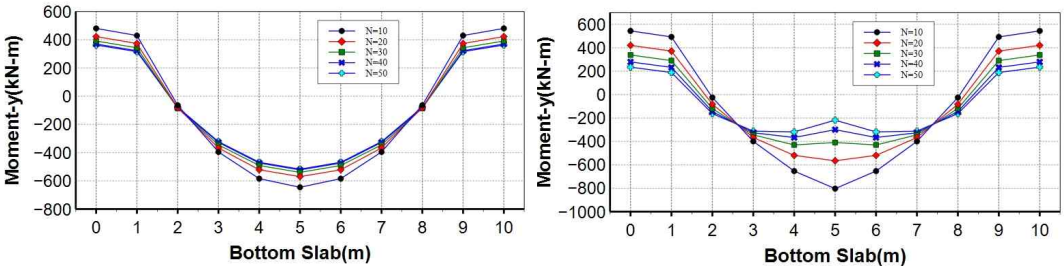
(b) Shear-z값 분석

그림 3.54 슬래브 두께 0.4m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

(2) 슬래브 두께 0.6m일 때 구조해석 결과

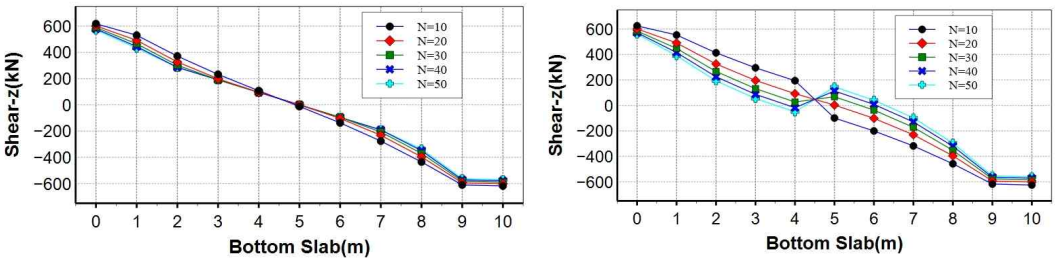
지하구조물을 설치함에 있어 토피 5m에 구조물 폭원 10m를 고정값으로 하고 슬래브 두께를 0.6m로 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.24 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 Moment-y값은 그림 3.55 (a)와 같이 N값의 최저치보다 최고치에서 15.3% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.56 (a)에서처럼 N값이 20 이상부터 변화가 없다. 중간말뚝이 있을 경우 Moment-y값은 그림 3.55 (b)와 같이 N값이 10일 때 증가하다가 N 값이 20을 넘어가면서 역반력으로 인해 Moment 감소폭 또한 커짐을 알 수 있으며, N값의 최저치보다 최고치에서 72.8% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.56 (b)와 같이 247.1% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.55 슬래브 두께 0.6m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

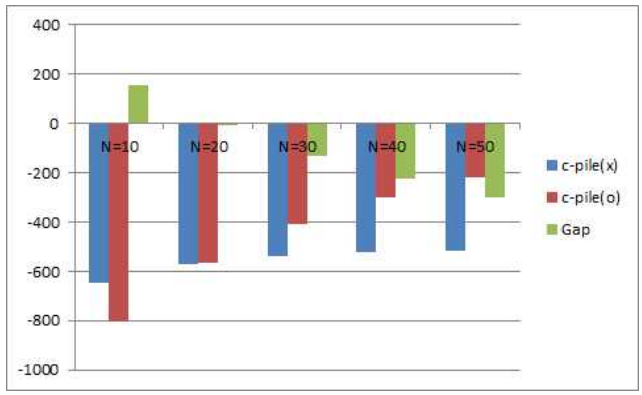


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

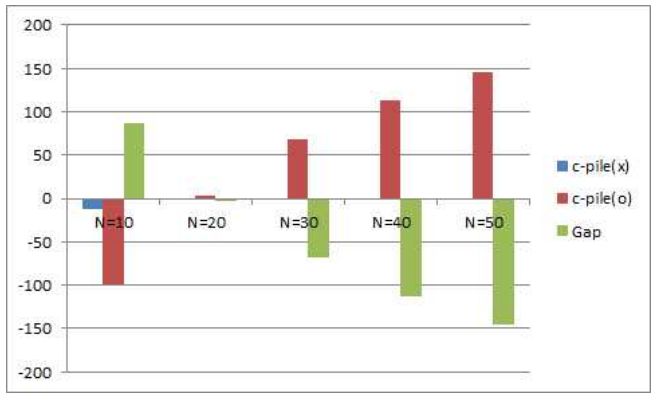
그림 3.56 슬래브 두께 0.6m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력차를 비교해 보면 중앙 절점 Moment는 그림 3.57 (a)에서 보는 바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 -645.69kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 24.4% 증가한 -803.45kN·m임을 알 수 있고 N값이 20일 경우부터 감소하기 시작해서 N값이 50일 때 중간말뚝이 없을 경우 -547.21kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 60.0% 감소한 -218.79kN·m로 영향이 감소함을 알 수 있고 Shear-z값 또한 그림 3.57 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 10일 때 증가하다가 N값이 20일 때를 기점으로 커짐에 따라 전단력 또한 역으로 증가하고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석



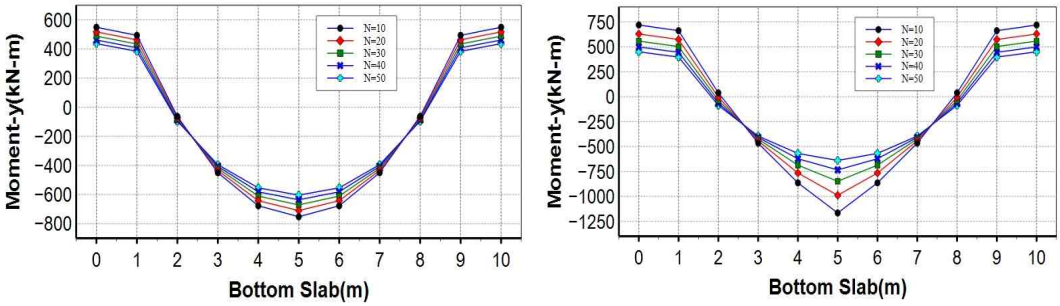
(b) Shear-z값 분석

그림 3.57 슬래브 두께 0.6m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

(3) 슬래브 두께 0.8m일 때 구조해석 결과

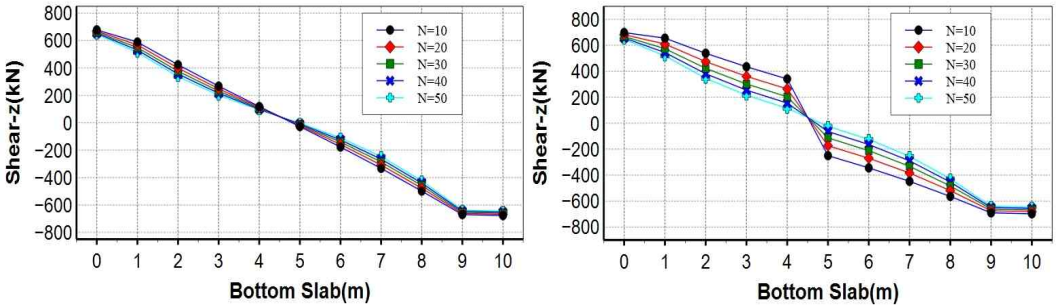
지하구조물을 설치함에 있어 토피고 5m에 구조물 폭원 10m를 고정값으로 하고 슬래브 두께를 0.8m로 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.24 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 Moment-y값은 그림 3.55 (a)와 같이 N값의 최저치보다 최고치에서 19.7% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.56 (a)와 같이 87.5% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 Moment-y값은 그림 3.55 (b)와 같이 N값이 클수록 Moment 감소폭 또한 커짐을 알 수 있으며, N값의 최저치보다 최고치에서 45.1% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.56 (b)와 같이 90.3% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.58 슬래브 두께 0.8m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

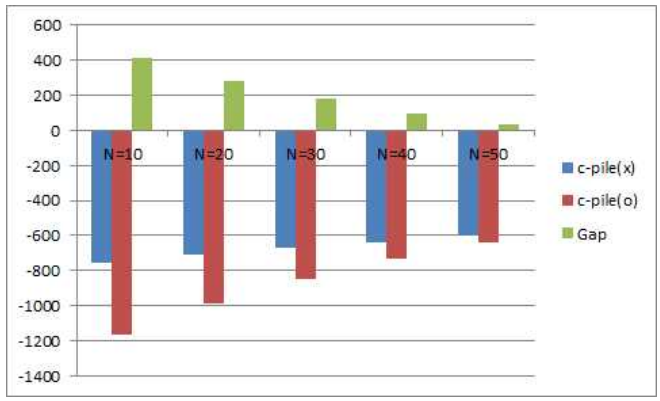


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

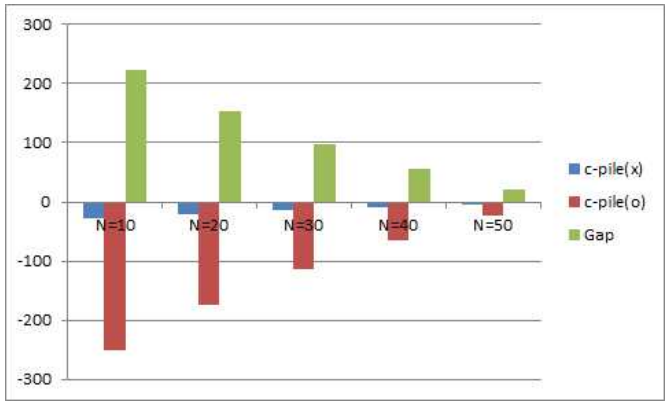
그림 3.59 슬래브 두께 0.8m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력차를 비교해 보면 중앙 절점 Moment는 그림 3.60 (a)에서 보는바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 -752.2kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 55.1% 증가한 -1166.64kN·m임을 알 수 있으나 N값이 커질수록 영향력이 점진적으로 감소하여 N값이 50일때 중간말뚝이 없을 경우 -603.96kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 6.0% 증가한 -640.14kN·m로 영향력이 거의 미치지 않고 있음을 확인할 수 있고 Shear-z값 또한 그림 3.60 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 증가함에 따라 전단력 또한 감소하여 N값이 50일 때는 영향력이 거의 미치지 않고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석



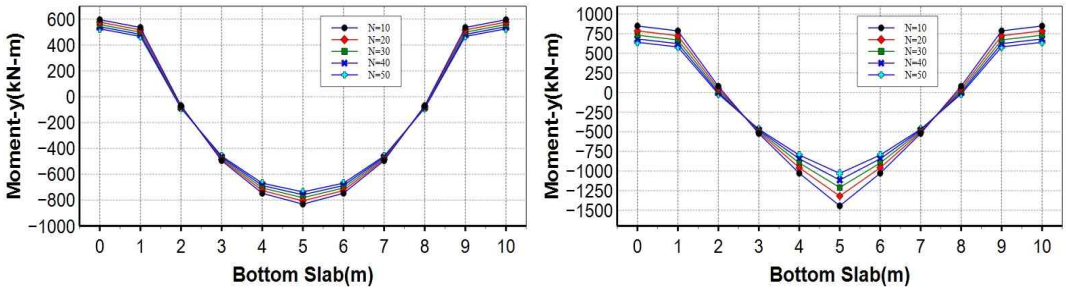
(b) Shear-z값 분석

그림 3.60 슬래브 두께 0.8m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

(4) 슬래브 두께 1.0m일 때 구조해석 결과

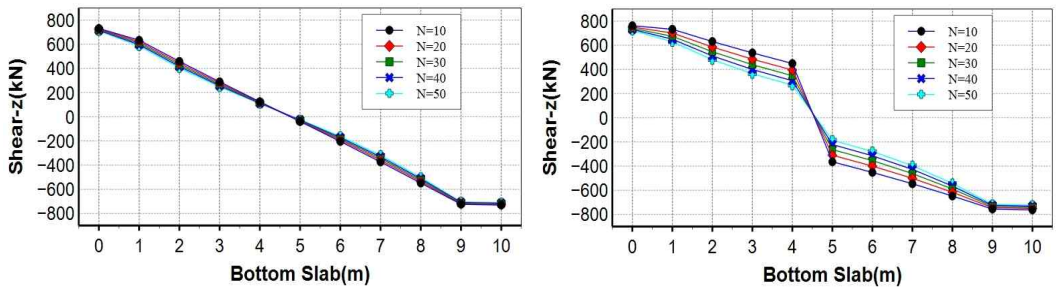
지하구조물을 설치함에 있어 토피고 5m에 구조물 폭원 10m를 고정값으로 하고 슬래브 두께를 1.0m로 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.24 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 Moment-y값은 그림 3.61 (a)와 같이 N값의 최저치보다 최고치에서 11.4% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.62 (a)와 같이 40.0% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 Moment-y값은 그림 3.61 (b)와 같이 N값이 클수록 Moment 감소폭 또한 커짐을 알 수 있으며, N값의 최저치보다 최고치에서 28.7% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.62 (b)와 같이 49.2% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.61 슬래브 두께 1.0m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

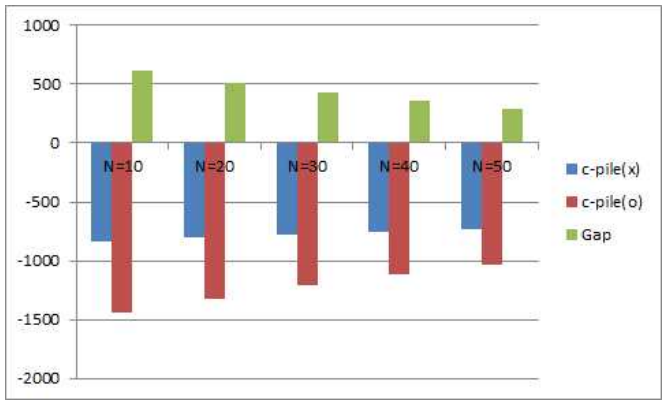


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

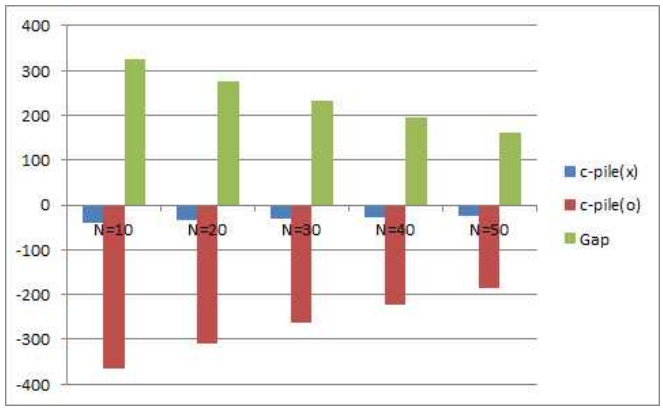
그림 3.62 슬래브 두께 1.0m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력차를 비교해 보면 중앙 절점 Moment는 그림 3.63 (a)에서 보는바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 -831.59kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 73.7% 증가한 -1444.71kN·m임을 알 수 있고 N값이 50일 경우에도 중간말뚝이 없을 경우 -736.9kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 39.8% 증가한 -1029.96kN·m로 중간말뚝으로 인해 영향을 미치고 있음을 알 수 있고 Shear-z값 또한 그림 3.63 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 증가함에 따라 전단력 또한 감소하기는 하나 전반적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석



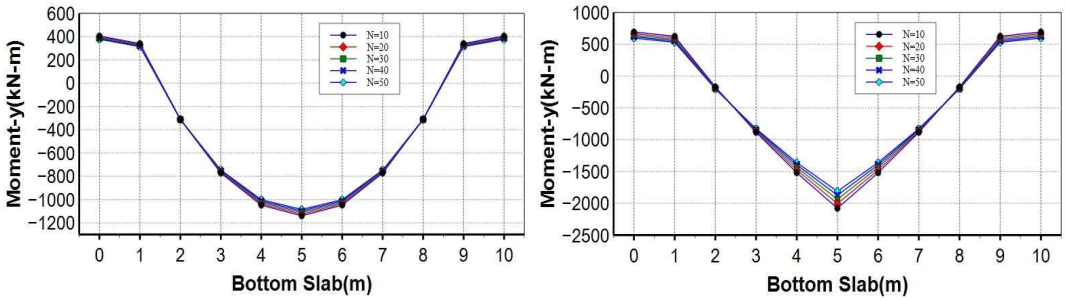
(b) Shear-z값 분석

그림 3.63 슬래브 두께 1.0m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

(5) 슬래브 두께 1.2m일 때 구조해석 결과

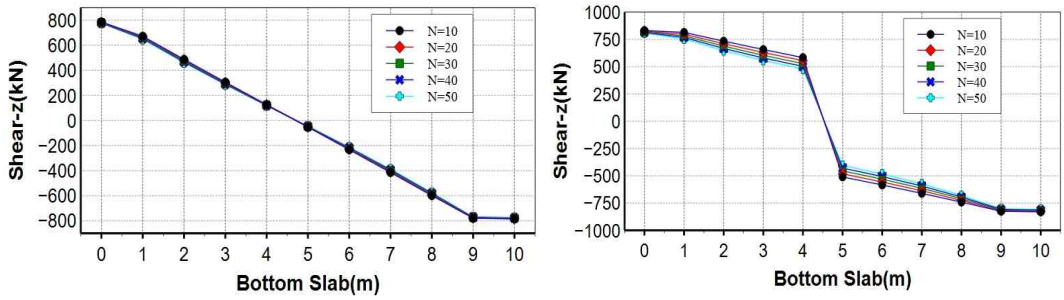
지하구조물을 설치함에 있어 토피고 5m에 구조물 폭원 10m를 고정값으로 하고 슬래브 두께를 1.2m로 가정하였을 때 단면 중앙부 절점값은 표 3.24 Moment-y값 및 Shear-z값과 같으며, 저판슬래브에 작용하는 단면력은 중간말뚝이 없을 경우 Moment-y값은 그림 3.61 (a)와 같이 N값의 최저치보다 최고치에서 3.8% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.62 (a)와 같이 14.3% 감소하였다. 중간말뚝이 있을 경우 Moment-y값은 그림 3.61 (b)와 같이 N값이 클수록 Moment 감소폭 또한 커짐을 알 수 있으며, N값의 최저치보다 최고치에서 12.8% 감소하였고 Shear-z값은 그림 3.62 (b)와 같이 20.5% 감소하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) 중간말뚝 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

그림 3.64 슬래브 두께 1.2m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Moment-y값 비교

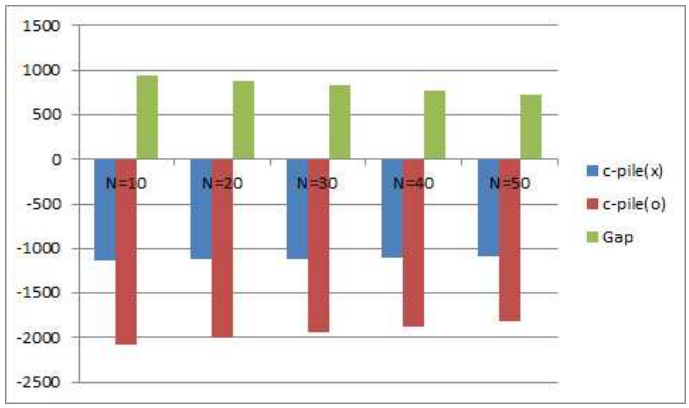


(a) 중간말뚝이 없을 경우 (b) 중간말뚝이 있을 경우

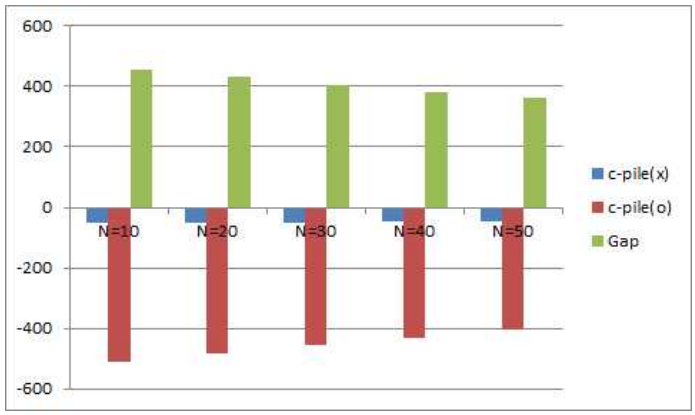
그림 3.65 슬래브 두께 1.2m일 때 N값에 따른 저판슬래브 Shear-z값 비교

중앙 절점에 대한 N값에 따른 반력차를 비교해 보면 중앙 절점 Moment는 그림 3.66 (a)에서 보는바와 같이 N값 10일 경우 중앙절점의 Moment-y값이 중간말뚝이 없을 경우 -1139.42kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 82.5% 증가한 -2079.04kN·m임을 알 수 있고 N값이 50일 경우에도 중간말뚝이 없을 경우 -1085.04kN·m에서 중간말뚝이 있을 경우 67.0% 증가한 -1812.41kN·m로 중간말뚝으로 인해 영향이 미치고 있음을 알 수 있고 Shear-z값 또한 그림 3.66 (b)에서 보듯 중앙 절점부 전단력에도 영향을 주어 N값이 증가함에 따라 다소 감소하기는 하나 전반적으로 영향을 미치고 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a) Moment-y값 분석



(b) Shear-z값 분석

그림 3.66 슬래브 두께 1.2m일 때 N값에 따른 중앙절점부 값

3.5 설치조건별 구조물 저판 중앙절점부 단면력 분석

3.5.1 구조물 폭원별 분석결과

설치조건별 구조물저판 중앙절점부의 단면력을 분석해 보면 표 3.25와 같이 저판 폭원별로 토피고와 N값에 따라 저판에 작용하는 중앙 절점부 Moment Gap차가 나고 있음을 확인할 수 있으며 붉은색 점선 값이 중간말뚝으로 인해 증가한 값으로 이를 토대로 저판 폭원과 N값에 따른 변화를 비교해 보았다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 3.25 CASE별 저판에 작용하는 중앙절점부 Moment Gap차

저판폭 (B)	토피고 (H)	N값에 따른 Moment Gap차				
		10	20	30	40	50
10	5	939.62	881.12	826.47	775.31	727.37
	10	1343.32	1255.36	1173.21	1096.35	1024.35
	15	1773.39	1654.65	1543.76	1440.02	1342.86
	20	2212.27	2062.29	1922.22	1791.23	1668.54
16	5	1591.38	1132.19	782.21	509.92	294.56
	10	2335.12	1623.68	909.92	661.71	329.67
	15	3133.37	2158.57	1417.13	841.61	387.53
	20	3949.77	2707.93	1763.65	1030.9	416.75
20	5	1582.67	637.18	59.89	-393.9	-777.14
	10	2304.98	827.88	-76.79	-839.85	-1461.21
	15	3092.91	1060.32	-195.55	-1261.27	-2126.93
	20	3902.71	1306.69	-307.01	-1674.53	-2786.56

구조물 저판폭원 10m일 경우 그림 3.96에서 토피고에 따른 GAP차를 보면 중간말뚝의 유무에 따라 토피고가 높을수록 Moment는 증가하고 GAP차이 또한 커짐을 알 수 있으며, N값이 증가할수록 줄어들기는 하나 전반적으로 구조물 저판에 영향을 미치고 있다.

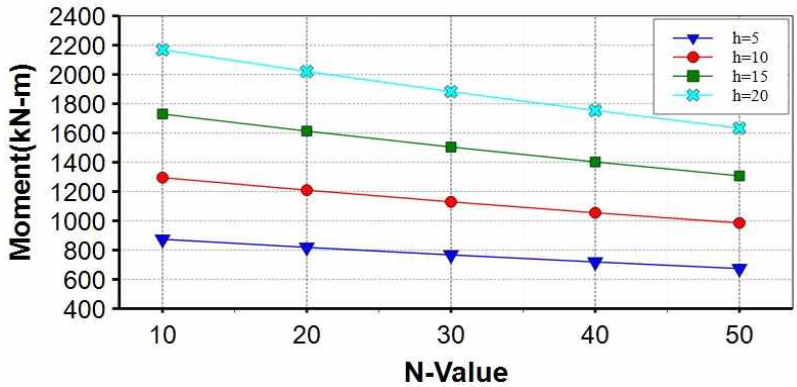


그림 3.67 폭원 10m일 때 토피고에 따른 저판 중앙절점부 Moment GAP차

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

저판폭원 16m일 경우 그림 3.97에서 토피고가 높아질수록 Moment는 증가하고 있음을 알 수 있고 GAP차를 보면 N값이 10일 경우 토피고에 관계없이 구조물 저판에 영향을 미치고 있으나 N값이 높아질수록 격차폭이 점진적으로 줄어들면서 N값이 50일 때 토피고에 관계없이 영향이 거의 미치지 않고 있다.

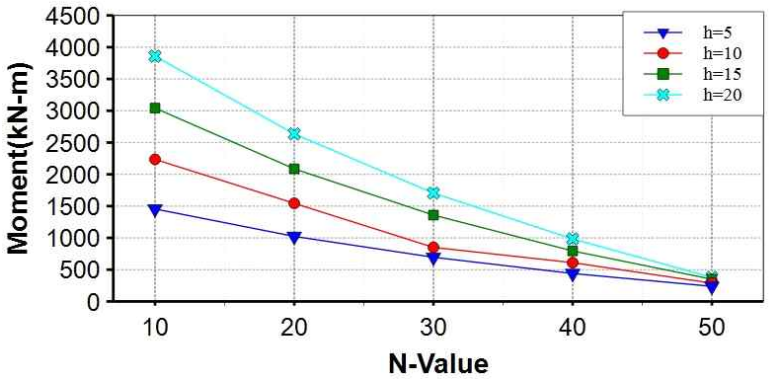


그림 3.68 폭원 16m일 때 토피고에 따른 저판 중앙절점부 Moment GAP차

저판폭원 20m일 경우 그림 3.98에서 토피고가 높을수록 N=10일 때 Moment는 증가하나 N=50일 때 Moment 감소율은 커짐을 알 수 있고 GAP차를 보면 N값이 10일 경우 토피고에 관계없이 구조물 저판에 영향을 미치고 있으나 N값이 30을 넘어서면서 부터 역반력으로 인해 Moment Gap차가 (-)를 이뤄 토피고가 높을수록 기울기가 커짐을 알 수 있고 N값이 50에 이르러 역반력 또한 커지면서 중간말뚝이 구조물 저판에 미치는 단면력이 감소하고 있다.

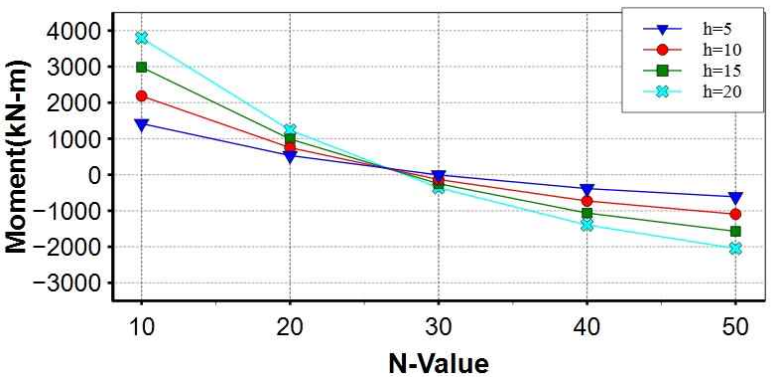


그림 3.69 폭원 20m일 때 토피고에 따른 저판 중앙절점부 Moment GAP차

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.5.2 구조물 슬래브 두께별 분석결과

토피고 5m와 저판폭 10.0m로 고정값 상태에서 슬래브 두께에 따른 구조물저판 중앙절점부의 단면력을 분석해 보면 표 3.26과 같이 파란색 표시값은 구조물의 슬래브 두께에 따라 얇을수록 중간말뚝으로 인한 저판 단면력이 감소하고 붉은색 표시값은 두꺼울수록 단면력이 증가하여 슬래브 두께에 따라 영향력에 변화가 있음을 알 수 있고 N값에 따라 저판에 작용하는 중앙 절점부 Moment Gap차에 변화가 있음을 확인할 수 있었다.

표 3.26 구조물 슬래브 두께에 따른 중앙절점부 Moment Gap차

슬래브두께	N값에 따른 Moment Gap차				
	N=10	N=20	N=30	N=40	N=50
0.4M	-234.2	-431.0	-523.56	-573.53	-603.71
0.6M	157.76	-4.8	-130.92	-223.06	-298.42
0.8M	414.44	279.14	176.95	98.08	36.18
1.0M	613.12	513.5	428.7	355.94	293.06
1.2M	939.62	881.12	826.47	775.31	727.37

구조물 저판폭원 10m일 경우 그림 3.99에서 슬래브 두께에 따른 GAP차를 보면 중간말뚝의 유무에 따라 슬래브 두께가 두꺼울수록 중간말뚝으로 인한 Moment는 증가하고 GAP차이 또한 커짐을 알 수 있으며, N값이 증가할수록 줄어들기는 하나 전반적으로 구조물 저판에 영향을 미치고 있다.

슬래브 두께가 얇을수록 구조물 자중값의 감소와 부력의 증가로 감소폭이 커 N값과 관계없이 슬래브 두께가 0.4m일 때와 슬래브 두께가 0.6m이고 N값이 20 이상일 경우, 슬래브 두께가 0.8m이고 N값이 50 이상일 경우에는 중간말뚝으로 인한 영향력이 없거나 감소함을 알 수 있으며, 나머지 조건에서는 중간말뚝으로 인해 중앙 절점부의 Moment 값이 증가하여 저판슬래브에 영향을 미치고 있음을 확인하였다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

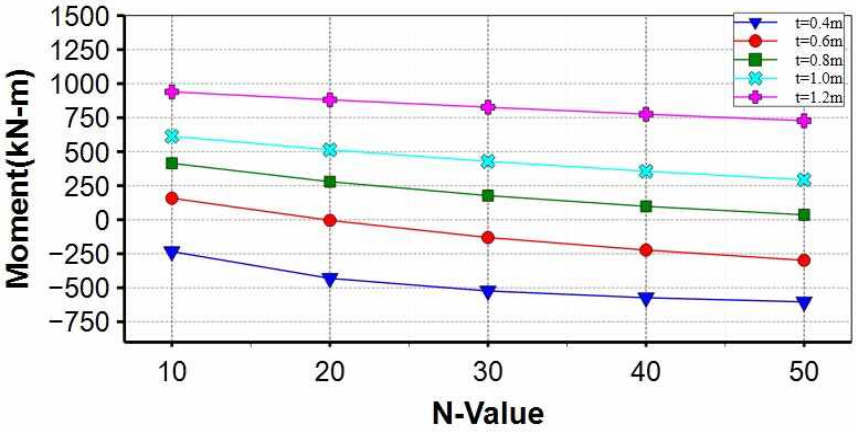


그림 3.70 슬래브 두께에 따른 저판 중앙절점부 Moment GAP차

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 중간말뚝 보강방법 검토

4.1 일반사항

가시설 중간말뚝을 설치함에 있어 중간말뚝의 매몰부에 대한 보강기준이 없어 개구부기준을 적용하여 보강하다 보니 과다한 보강철근으로 인해 과다설계가 되고 있다. 보강철근 없이 H-pile을 관통하는 방법을 제시하기 위해 중간말뚝 자체에 대한 해석은 국가건설기준에 의거 강구조 혹은 그 시설물에 대하여 허용응력설계법에 기초한 구조설계에 적용토록 하고 있다. 본 장에서는 실제 작용하는 중간말뚝의 허용응력을 계산해보고 관통으로 인한 단면 감소시 허용응력을 계산하여 적합한 방법을 제시하고자 한다.

실제 작용하는 중간말뚝의 허용응력을 계산하기 위해 중간말뚝간 거리가 4m 이상으로 최대하중을 받을 수 있는 구조물을 대상으로 하였다. 대상 구조물은 OO 도시철도 건설현장 조건으로 중간말뚝에 용접을 통해 보강하고 있는 공법을 적용하지만, 본 연구를 위해 중간말뚝(C-pile)에 관통하는 방법으로 변경하였을 때 문제가 없는지 구조계산을 통해 확인하였다.

4.2 중간말뚝 구조계산

4.2.1 중간말뚝 응력계산

중간말뚝에 주철근을 용접하여 보강하는 방법외에 관통 보강하는 방법을 검토하기 위해 샘플링한 OO 도시철도 OO 구간의 가시설구조물 현장 설치조건은 그림 4.1과 같고, 중간말뚝의 설치 상세도는 그림 4.2와 같다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

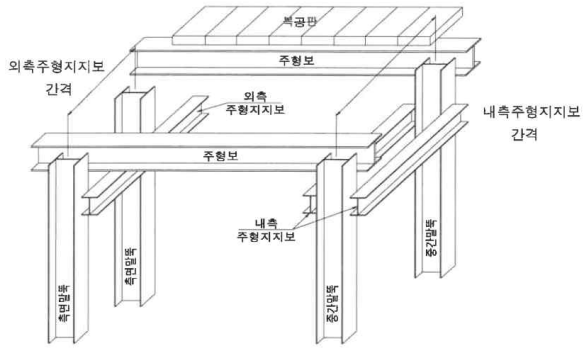


그림 4.1 중간말뚝 설치계획도

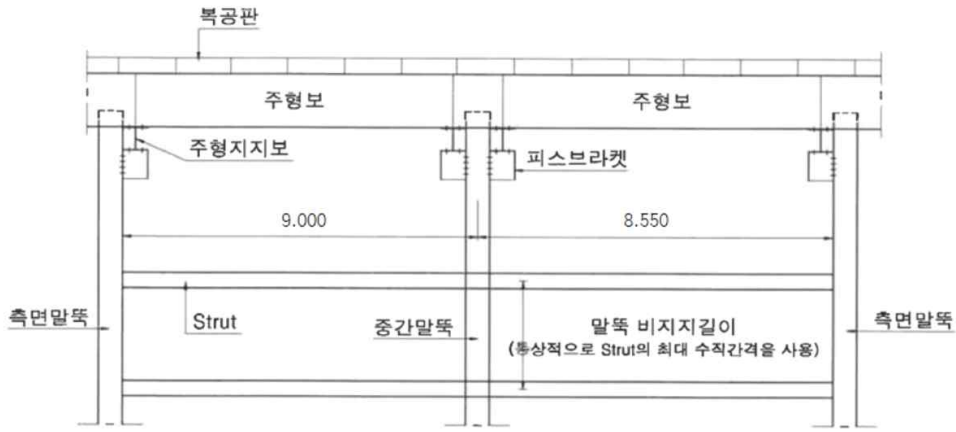


그림 4.2 중간말뚝 설치 세부조건

OO 도시철도 OO 현장에서 사용되고 있는 대상 계산지간은 17.550m (9.000 + 8.550)이고, PILE 설치간격은 4.00m, 주형보 간격은 2.00m, 사용강재는 H 300 × 300 × 10 / 15 (SS400)으로 자세한 재원은 그림 4.3과 같다.

단위중량 w (N/m)	922.2
단면적 A (mm^2)	11980.0
단면2차모멘트 I_x(mm^4)	204000000.0
단면계수 Z_x(mm^3)	1360000.0
단면2차반경(x축) R_x(mm)	131.0
단면2차반경(y축) R_y(mm)	75.1

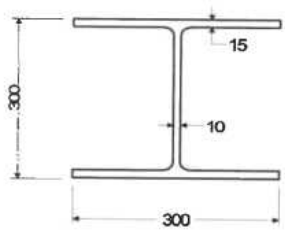


그림 4.3 사용강재 세부재원

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

단면력 산정을 위해 강재자중 및 축하중을 산정해 보면 Σp_s는 중간말뚝 자중(10.579kN) + 주형지지보 자중(9.920kN) + 버팀보 자중(17.722kN) + 피스브라켓 자중(0.940kN) + ㄷ형강 자중(11.280kN) 값을 더한 50.441 kN 임을 알 수 있다.

주형보 고정하중 값인 좌측 주형보 S_{d1} 값은 (5.696 × 9.000) / 2 값인 25.633 kN 이고, 우측 주형보 S_{d2} 값은 (6.696 × 8.550) / 2 값인 24.351 kN 이다.

충격계수 i 는 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 8.550) = 0.309 > 0.3 이므로 0.300적용하였다. 따라서 전륜하중에 의한 활하중을 계산하면 DB 24일 때 P_{f1}은 24 × (1 + 0.300) = 31.200 kN 이고, DB 18일 때 P_{f2}은 18 × (1 + 0.000) = 18.000 kN , DB 13.5일 때 P_{f3}는 13.5 × (1 + 0.000) = 13.500 kN 된다. 후륜하중에 의한 활하중은 DB 24일 때 P_{r1} 은96 × (1 + 0.300) = 124.800 kN, DB 18일 때 P_{r2}는 72 × (1 + 0.000) = 72.000 kN, DB 13.5 일 때 P_{r3}는 54 × (1 + 0.000) = 54.000 kN 이다.

중간말뚝에 미치는 응력을 계산하기 위해 2차선 차량진행 방향에 직각 방향으로 그림 4.4와 같이 활하중을 제하하는 것으로 가정하였다.

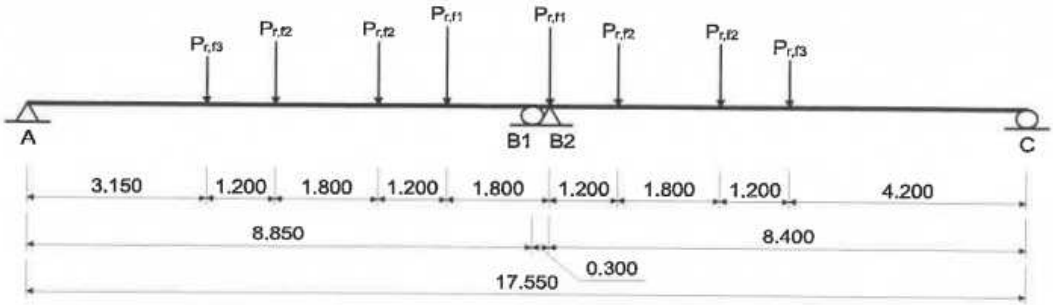


그림 4.4 2차선 하중 재하도

후륜하중 재하시 B점 반력은 작용 활하중 R_{B1}는 (124.800 × 7.350 + 93.600 × 6.150 + 93.600 × 4.350 + 70.200 × 3.150) / 8.850 = 239.685 kN 이고, R_{B2}는 (124.800 × 8.400 + 93.600 × 7.200 + 93.600 × 5.400 + 70.200 × 4.200) / 8.400 = 300.300 kN 이다.

전후륜하중 재하시 B점 반력 적용활하중 R_{B1}는 (31.200 × 7.350 + 23.400 × 6.150 + 23.400 × 4.350 + 17.550 × 3.150) / 8.850 = 59.921 kN 이고, R_{B2}는 (31.200 × 8.400 + 23.400 × 7.200 + 23.400 × 5.400 + 17.550 × 4.200) / 8.400 = 75.075 kN 이다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

중간말뚝에 미치는 응력을 계산하기 위해 1.5차선 차량진행 방향에 직각 방향으로 그림 4.5와 같이 활하중을 제하하는 것으로 가정하였다.

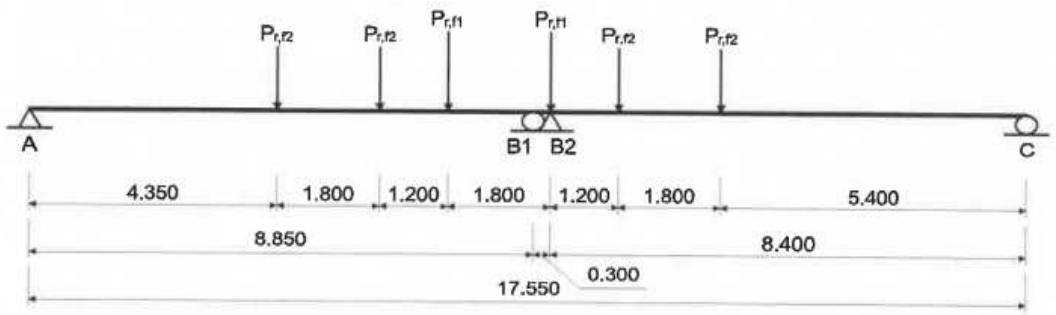


그림 4.5 1.5차선 하중 재하도

후륜하중 재하시 B점 반력 적용 활하중 R_{B1}는 (124.800 × 7.350 + 93.600 × 6.150 + 93.600 × 4.350) / 8.850 = 214.698 kN 이고, R_{B2}는 (124.800 × 8.400 + 93.600 × 7.200 + 93.600 × 5.400) / 8.400 = 265.200 kN 이다.

전륜하중 재하시 B점 반력은 적용 활하중 R_{B1}는 (31.200 × 7.350 + 23.400 × 6.150 + 23.400 × 4.350) / 8.850 = 53.675 kN 이고, R_{B2}는 (31.200 × 8.400 + 23.400 × 7.200 + 23.400 × 5.400) / 8.400 = 66.300 kN 이다.

중간말뚝에 미치는 응력을 계산하기 위해 1.5차선 차량진행 방향에 직각 방향으로 그림 4.6과 같이 활하중을 제하하는 것으로 가정하였다.

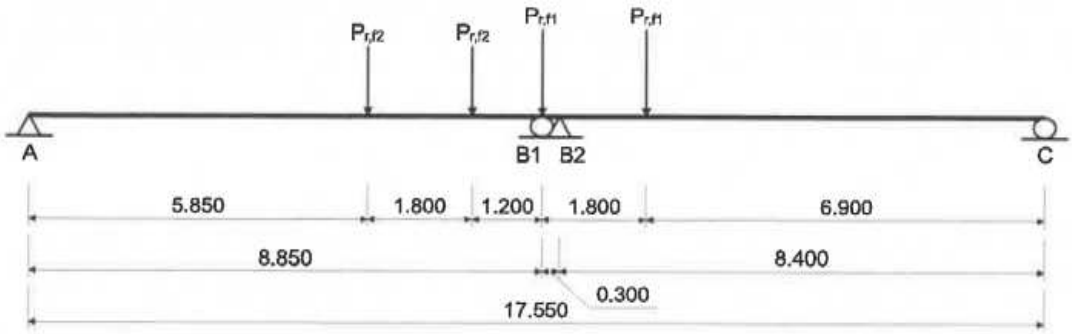


그림 4.6 1차선 하중 재하도

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

후륜하중 재하시 B점 반력은 적용 활하중 R_{B1}는 (124.800 × 8.850 + 93.600 × 7.650 + 93.600 × 5.850) / 8.850 = 267.580 kN 이고, R_{B2}는 (124.800 × 6.900) / 8.400 = 102.514 kN 이다. 전륜하중 재하시 B점 반력 적용 활하중 R_{B1}는 (31.200 × 8.850 + 23.400 × 7.650 + 23.400 × 5.850) / 8.850 = 66.895kN 이고, R_{B2}는 (31.200 × 6.900) / 8.400 = 25.629 kN 이다.

중간말뚝의 단면력을 산정하기 위한 중간말뚝 전체 길이 중 그림 4.7과 같이 좌측에 작용하는 주형보 반력 R_1는 (267.580 × 4.000 + 66.895 × 1.200) / 4.000 = 7.648 kN 이고, 중간말뚝 반력(A점 기준) P_1 = R_{A1}= R_1 + S_{d1} × 4.00 / 2.00 = 287.648 + 25.633 × 4.00 / 2.00 = 338.914 kN 이다. 중간말뚝 전체 길이 중 그림 4.7과 같이 우측에 작용하는 주형보 반력 R_2는 (300.300 × 4.000 + 75.075 × 1.200) / 4.000 = 322.823 kN이고, 중간말뚝 반력(A점 기준) P_2는 Ra2 = R2 + S_{d2} × 4.00 / 2.00 = 322.823 + 24.351 × 4.00 / 2.00 = 371.525 kN 로, 중간말뚝에 작용하는 총 반력 ΣP는 Pi + P_2+ P_s = 338.914 + 371.525 + 50.441 = 760.881 kN 이다.

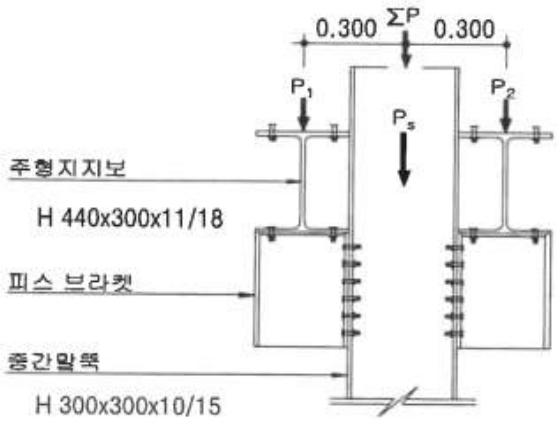


그림 4.7 중간말뚝과 주형지지보

중간말뚝에 작용하는 응력을 산정하면 압축응력 f_c는 ΣP / A = 760.881 × 1000 / 11980 = 63.513 MPa 이고, 휨응력 f_b는 M_{max} / Z_x = 111.458 × 1000000 / 1360000 = 81.954 MPa 이다. 여기서 M_{max}는 P_2 × e = 371.525 × 0.300 = 111.458 kN·m을 적용하고 보정계수는 가설구조물 특성과 재사용 및 부식을 고려한 저감계수 1.0을 적용하였다.

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

축방향 허용압축응력 f_{ca}는 $f_{C}ax$값과 fcav값중 작은 값인 179.742 MPa을 적용 하였으며, 중간말뚝의 압축응력 f_c는 63.513 MPa로 허용응력 이내임을 확인할 수 있다.

f_{cao} = 1.50 × 1.0 × 140.000 = 210.000 MPa

L_x/R_x = 3250 / 131 = 24.809 --- 20 < Lx / Rx < 93 이므로

$f_{C}ax$ = 1.50 × 1 × (140 - 0.866667 × (24.809 - 20)) =203.748 MPa

L_y/R_y = 3250 / 75.1 = 43.276 --- 20 < Ly / Ry < 93 이므로

$f_{C}av$ = 1.50 × 1 × (140 - 0.866667 × (43.276 - 20)) = 179.742 MPa

허용휨압축응력 f_{ba}는 $f_{C}ax$ 값과 f_b 값중 작은 값인 187.200 MPa를 적용하였으며, 중간말뚝의 휨응력 f_b는 81.954 MPa 로 허용휨응력 이내임을 확인할 수 있다.

L/B = 3250 / 300 = 10.833 --- 4.5 < L/B < 30 이므로

f_{ba} = 1.50 × 1 × (140 - 2.4 × (10.833 - 4.5)) = 187.200 MPa

$f_{C}ax$ = 1.50 × 1.0 × 1200000 / $(24.809)^2$ = 2924.478 MPa

중간말뚝(C-pile)에 주철근을 용접보강 대신 관통하는 방법으로 보강하였을 경우 중간말뚝의 영향을 계산하기 위해 H형강 천공시 감소면적 하부슬래브 응력을 받는 주철근은 보통 HD25를 사용하고 있으므로 공칭지름 25.4mm 보다 큰 30mm로 가정하였다. 주철근 간격이 200mm이므로 2공씩 상하 4공을 천공하는 것으로 계산하였다.

여기서 중간말뚝(C-pile)인 H형강 관통에 따른 단면력 감소분을 반영하여 계산해보면 압축응력이 74.743 MPa 이고 축방향 허용압축응력이 179.742 MPa 이다. 그러므로 단면감소로 인한 압축응력이 허용응력 이내에 해당되어 중간말뚝의 지지력에 문제가 없고 지하구조물을 설치함에 있어 주철근이 단절되지 않고 관통 삽입 설치됨으로서 구조적인 안정성 향상에도 기여한다고 할 수 있다.

천공단면적 = 30mm × 4ea × 15t = 1800㎟

압축응력 $f_c = \Sigma P / A$ = 760.881 × 1000 / (11980 - 1800)= 74.743 MPa

압축응력 f_{ca} = 179.742 MPa > f_c = 74.743 MPa

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.2.2 보강방안 및 조건

중간말뚝 위치가 지하구조물 저판 슬래브의 양방향의 중간대가 겹치는 부분에 매몰되고 있다. 개구부 기준을 보면 “양방향의 중간대가 겹치는 부분은 개구부가 없을 때의 소요 철근량을 유지한다면 어떤 크기의 개구부도 둘 수 있다” 라고 규정되어 많은 현장에서 현장여건 및 토질조건에 따른 구조해석 없이 개구부의 기준을 적용되고 있다. 그래서 보강철근이 과다하게 시공되고 있는 것이 현실이다.

지하구조물을 설치함에 있어 슬래브 두께를 1.2m로 가정 하였을 때 지하구조물 폭원별 토질조건에 따라 분석한 결과에 따르면, 지하구조물에 적용되는 슬래브 두께를 1.2m로 고정한 상태에서 슬래브 폭이 16m 이고 N값이 50 이상일 경우, 슬래브 폭이 20m 이고 N값이 30 이상이거나, 토피고 5m와 슬래브 폭을 10m로 고정한 상태에서 슬래브 두께에 따른 중간말뚝으로 인한 영향력을 분석한 결과 값에서 슬래브 두께가 0.4m일 때와 슬래브 두께가 0.6m이고 N값이 20 이상일 경우, 슬래브 두께가 0.8m이고 N값이 50 이상 조건 값에서는 중간말뚝이 저판 슬래브에 미치는 영향이 적고 주철근을 중간말뚝(C-Pile)에 관통 시공하더라도 허용응력 이내로 안전성에 문제가 없다.

해석결과를 토대로 지하구조물을 설치함에 있어 슬래브 두께를 1.2m로 고정한 상태에서 N값과 관계없이 슬래브 폭이 10m 인 경우, 저판폭이 16m 이상이고 N값이 50 미만인 경우, 저판폭이 20m 이상이고 N값이 30 미만인 조건값과 토피고 5m와 슬래브 폭 10.0m로 고정한 상태에서 슬래브 두께가 0.6m이고 N값이 20 미만일 경우, 슬래브 두께가 0.8m이고 N값이 50 미만인 경우, N값과 관계없이 슬래브 두께가 1.0m 이상인 조건 값에서는 가시설구조물인 중간말뚝으로 인해 저판 슬래브에 집중하중을 받게 되어 구조물의 안정성에 영향을 미치게 되므로 중간말뚝의 반력을 고려한 구조계산을 실시한 후 반영이 필요하다.

앞서 CASE별 구조해석 결과를 보면 중간말뚝으로 인한 구조물에 저판에 영향을 미치는 인자는 토피고 보다는 저판폭과 N값, 그리고 슬래브 두께임을 알 수 있다. 적용되는 토질조건이 연약지반에 가깝고 저판 슬래브 폭이 작아지거나 슬래브 두께가 두꺼워질수록 구조물 저판 중간말뚝 매몰부위에 미치는 영향이 증가함을 알 수 있었다.

다만 중간말뚝으로 인한 구조물에 미치는 영향을 해석함에 있어 중간말뚝이

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

단단한 지반층에 고정되어 있다는 가정하에 해석되었다. 따라서 중간말뚝 제거에 따른 해석(JSCE, 2018) 내용과 같이 중간 말뚝을 제거하기 전에 해당 말뚝이 지하 시설물의 영구적 지지 보호를 위한 지지 말뚝으로 사용되는지 않는지 확인해야 한다. 이는 중간말뚝이 지지 말뚝으로 사용되고 있다면 보강방법을 달리하여야 하고 중간말뚝이 지지말뚝으로 사용되지 않고 단단한 지반층에 지지되고 있지 않는다면 중간말뚝으로 인한 구조물 슬래브에 미치는 영향력 또한 없는 것이 되기 때문에 구조해석은 필요가 없게 되고 별도의 보강방법 또한 필요 없게 된다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 5 장 결 론

현장 시공여건상 발생될 수밖에 없는 개구부와 매몰부위에는 콘크리트와 철근의 단절로 인해 개구부의 크기와 위치에 따라 부가적인 하중이 발생한다. 이러한 부가하중에 의해 개구부에 발생하는 응력집중에 의한 균열방지와 보강을 위해 많은 연구가 수행되었다. 하지만 개구부에 대한 보강 설계기준이 제시되어 있지만 매몰부위에 대한 연구들은 진행되지 않고 있다. 매몰부에 대한 설계기준 또한 정립되어 있지 않고, 시공 과정중에 지하구조물 저판 슬래브 매몰부위에 대한 상세도면만 제시하고 있어, 개구부 보강기준을 매몰부에 개별적으로 적용하여 반영하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 매몰부위에 대해 중간말뚝이 상부하중을 지지하기 위해 단단한 지반층에 매립되고 저판 중앙부에 위치한다는 가정하에 지하 구조물 저판에 미치는 영향을 다양한 조건에 대해 구조해석을 수행하여 분석하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 중간말뚝이 지하구조물에 영향을 미치지 않는 다음 조건 값에서는 개구부에 대한 보강기준을 적용하여 단절된 주철근과 사인장 철근을 반영하여 보강하도록 한다. 단, 주철근이 중간말뚝에 드릴에 의한 최소면적 천공으로 관통되도록 반영하거나, 용접을 통해 일체가 되도록 할 경우에는 관통 또는 용접으로 보강된 주철근에 대한 보강철근을 생략해도 된다.
   (1) 지하구조물에 적용되는 슬래브 두께를 1.2m로 고정한 상태에서 슬래브 폭이 16m 이고 N값이 50 이상일 경우, 슬래브 폭이 20m 이고 N값이 30 이상인 조건
   (2) 지하구조물 슬래브폭을 10.0m로 고정한 상태에서 N값과 관계없이 슬래브 두께가 0.4m 일 때와 슬래브 두께가 0.6m 이고 N값이 20 이상일 경우, 슬래브 두께가 0.8m이고 N값이 50이상인 조건

2. 중간말뚝이 지하 구조물에 영향을 주게 되는 다음 조건 값에서는 중간말뚝이 매몰부위에 집중하중으로 작용하게 되어 구조물 안정성에 영향을 미치게 되므로 개구부에 대한 기준을 적용하여 단절된 주철근과 사인장 철근을 반영하여 보강하여야 하고 중간말뚝 부위에 대한 구조해석을 검토하여야 한다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(1) 지하구조물에 적용되는 슬래브 두께를 1.2m로 고정한 상태에서 슬래브 폭이 10m 인 경우, 슬래브 폭이 16m 이고 N값이 50 미만인 경우, 슬래브 폭이 20m 이상이고 N값이 30 미만인 조건

(2) 지하구조물 슬래브폭 10.0m로 고정한 상태에서 슬래브 두께가 0.6m이고 N값이 20 미만인 경우, 슬래브 두께가 0.8m이고 N값이 50 미만인 경우, 슬래브 두께가 1.0m 이상인 조건

3. 본 연구는 중간말뚝이 단단한 지반층에 고정되어 있다는 조건으로 도출된 결과이다. 그러나 중간말뚝이 지지말뚝으로 사용되지 않거나, 단단한 지반층에 지지되고 있지 않으면 별도의 구조해석은 필요가 없다.

4. 중간말뚝이 단단한 지지층에 있어도 현장에서는 지하구조물의 개착구간 상부하중과 토질조건에 따라 지하 구조물의 해석결과 값에 영향을 주어 단면이 변화될 수 있다. 슬래브 저판폭이 10m 이하에서는 슬래브 두께가 감소하게 되고 10m 이상 구간에서는 상부하중을 지탱하기 위해 중간말뚝을 추가하거나 기둥 및 보를 추가 설치하는 등 다양한 현장조건이 발생한다. 따라서 중간 말뚝이 슬래브에 미치는 영향은 본 연구의 해석결과와 현장여건 및 토질조건을 반영하여 재검토하여야 한다.

5. 본 연구결과를 토대로 개착식 공법에 의거 불가피하게 발생하는 가시설 구조물인 중간말뚝의 상부 철거 후 남은 하부말뚝이 지지말뚝으로 사용되는지 확인해야 한다. 그리고 지지말뚝으로 사용되는 경우 지하구조물 슬래브 시스템의 매몰부위에 대한 설계기준을 명확히 명시하여 불필요한 철근량의 과다 설계로 인한 예산낭비를 방지하고, 공사 현장별 품질관리의 적정성과 구조적인 안정성을 확보할 필요성이 있다.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

1. ACI. (1989). Soil Pressure on Box Culverts
2. Bowles J E. (1988). Foundation analysis and design.
3. Collins M P, Mitchell D. (1991). Prestressed Concrete Structures, Prentice Hall, Englewood cliffs, NJ. pp 338-411.
4. Das B M, Sivakugan N. (2018). Principles of foundation engineering. Cengage learning.N
5. Das B M. (1995). Principles of Foundation Engineering
6. Hunt R E. (1986). Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation
7. Japan Society of Civil Engineers. (2018). Standard Specifications For Tunneling-2016 : Cut-and-Cover Tunnels. pp. 308
8. Japan Society of Civil Engineers. (2010). Standard Specifications For Concrete Structures-2007 : Design. pp. 441
9. MacGregor J G, Wight J K, Teng S, Irawan P. (1997). Reinforced concrete: Mechanics and design
10. Paz M. (1985). Structural Dynamics Theory and Computation. Van Nostrand Reinhold Company.
11. Park R, Pauly T. (1975). Reinforced Concrete Structures. Wiley Interscience Publication.
12. Terzaghi K. (1955). Evaluation of the coefficient of subgrade reactions. Geotechnique 5(4)
13. Vesic A S. (1961). Beam on Elastic Subgrade and the Winkler's Hypothesis. In 5th ICSMFE
14. Wang C K. Salmon C G. (1979). Reinforced concrete design
15. Zienkiewicz O C. (2004). The Finite Element Method 4th ED. Volume 2
16. 日本土木學會コンクリート委員會. 2022, コンクリート標準施方書改訂資料基本原則編 (일본 토목학회 콘크리트위원회, 2022, 콘크리트 표준시방서 개정 자료 기본원칙편)

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

17. 土木學會コンクリート委員會, 2022, コンクリート標準施方書設計編
(토목학회 콘크리트위원회, 2022, 콘크리트 표준시방서 설계편)
18. 日本道路協會, 2020, コンクリート道路橋設計便覽
(일본 도로협회, 2020, 콘크리트 도로교 설계편람)
19. 東川和雄他 4人, 2020, コンクリート構造工學, 森北出版.
(토가와카즈오외 4인, 2020, 콘크리트 구조공학, 모리키타 출판)
20. 鹿島出版會, 2020, 仮設構造物-土木設計の要点
(가시마 출판회, 2020, 가설 구조물-토목설계의 요점)
21. 鹿島出版會. 2020, 設計の基本知識 地盤編 - 土木設計の要点
(가시마 출판회. 2020, 설계의 기본 지식 지반편 - 토목 설계의 요점)
22. 電氣書院, 2019, 構造力學と最適設計法の融合
(전기 서원. 2019, 구조 역학과 최적 설계법의 융합)
23. 川上純他 3人, 棋保党出版, 2018, コンクリート構造物の力學解析からメンテナンスまでz
(카아카미준외 3인, 2018, 콘크리트 구조물의 역학해석부터 유지보수까지, 기보당 출판)
24. 原 高史, 2014, 土木構造物設計, オーム社.
(하라타카사, 2014, 토목 구조물 설계, 오무사)
25. 內村太郎, 2013, 地盤工學, オーム社.
(우치무라타로, 2013, 지반공학, 오무사)
26. 日経コンストラクション, 2005, 欠陷構造に學ぶ - 土木技術者が抜けやすいミスの實例と對策, 日経BP社, pp. 117～200
(닛케이컨스트럭션, 2005, 결함 구조에서 배우기-토목기술자가 놓치기 쉬운 실수예와 대책, 닛케이BP사)
27. 고재만 (1993), “토질 지반조사 및 응용”, 효성
28. 광주광역시 (2019), 도시철도2호선 실시설계보고서
29. 국토교통부 (2021), 콘크리트 슬래브와 기초판 설계기준
30. 국토교통부 (2020), 가설흙막이(가시설) 설계기준
31. 국토교통부 (2019), 강구조 설계기준(허용응력설계법)
32. 국토교통부 (2016), 국가표준시방서(도로공사일반사항)
33. 국토교통부 (2015), 철도설계기준(노반편)
34. 국토교통부 (2012), 도로설계편람(지하차도편)
35. 국토교통부 (2010), 건설공사 시공상세도 작성지침

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

36. 김학철 (1998). 지하철 정거장의 개구부가 있는 단면에 관한 연구 [석사학위논문, 부산대학교].
37. 박용진 (2008). 개구부가 위치한 일방향 바닥판의 보강 [석사학위 논문, 서울대학교]. (pp. 7, 28-29).
38. 박재원 (2016). 대규모 단층파쇄대에서의 터널변형 특성에 관한 연구 [박사학위 논문, 상지대학교]. (pp. 43-55).
39. 변형석 (2013). 지중구조물의 단면력에 미치는 지반반력계수의 영향 [석사학위 논문, 부경대학교]. (pp. 3-8).
40. 서울특별시 (2019). 도시철도 이론과 실무(개착편).
41. 오윤석 (2001). 지하철 가설구조물의 단면력 변화에 관한 연구 [석사학위 논문, 인하대학교 산업대학원].
42. 오치웅 (2000). 비탄성 지반스프링 상수를 고려한 지하구조물의 해석 [석사학위 논문, 서울시립대학교]. (pp. 56-77).
43. 이동은 (2019). 암거 구조해석에서 적절한 지반스프링 간격에 대한 연구 [석사학위 논문, 광주대학교]. (pp. 3-6).
44. 이미화 (2001). 개구부가 있는 철근콘크리트 슬래브의 응력분포에 관한 연구 [석사학위 논문, 건국대학교]. (pp. 6-7).
45. 최승환 (2004). 지반조건에 따른 지하 콘크리트 박스구조물의 구조거동 [석사학위 논문, 수원대학교 산업정보대학원]. (pp. 23-27).
46. 한국철도시설공단 (2017). 지하구조물 설계일반.
47. 한국철도시설공단 (2017). 가시설 구조물.

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감 사 의 글

대학원 등록과 함께 구조분야 라는 학문을 접하고 막연함 속에 수료까지만 하자는 생각으로 시작한지가 엊그제 같은데 논문을 준비하면서 너무나 어려운 분야라 몇 번을 포기하고 다시 도전하는 과정을 통해 많은 것을 배웠고 공학박사라는 학위를 취득하기까지 많은 분들의 도움이 있었기에 박사학위 취득이라는 결실을 얻을 수 있었습니다.

힘든 과정속에 끝까지 조언과 격려로 이끌어주신 박정웅교수님과 심사 과정중에 좋은 논문이 될 수 있도록 아낌없는 격려와 도움을 주신 이성로, 박상준, 김성홍, 이희영교수님께 감사의 말씀 드립니다.

공직에 있다가 사회생활을 시작할 때부터 지금까지 자리잡게 해주시고 박사과정을 마칠 수 있도록 배려해 주신 한국기술개발(주) 임형택회장님과 임직원 여러분께도 감사의 말씀 드립니다.

연구를 시작하면서 자료를 제공해주신 공강주박사님과 구조해석의 기초를 만들어 주신 정찬현사장님, 그림작성 등 아낌없이 지원을 해주신 백낙현부사장님, 프로그램 해석방법에 조언을 해주신 구조부 배근배상무님, 현장자료를 정리해주신 CM팀과 도시계획부 직원 여러분께도 머리숙여 감사드립니다.

마지막으로 결혼해서 지금까지 평생 반려자로 나의 옆자리를 함께하고 있는 나의 반쪽 김문희, 듬직한 아들 상철, 사랑스런 딸 정현 태어나줘서 고맙고 나와 함께 해줘서 고맙고 사랑한다는 말 전합니다.

논문을 시작하면서 많은 자료를 찾아보고 공부하면서 구조해석 없이 아무것도 할 수 없는 어려움속에 프로그램 해석법을 처음부터 하나하나 배워가며 해석하는 과정을 통해 “구조분야”라는 학문을 알면 알수록 제 자신이 아직도 많이 부족하다는 것을 느끼게 되었습니다. 인생의 끝은 있어도 배움의 끝은 없는 만큼 좀더 나은 나를 위해 앞으로도 끊임없이 노력하며 정진해 나아가도록 하겠습니다.

다시한번 저를 아는 모든 분들께 감사의 말씀드리며, 늘 건강하시고 좋은 일 행복한 일만 가득하시길 기원 드립니다.

2023년 12월

김 두 산 배상