

건설기술혁신사업 제1차년도 최종보고서

R&D / 11기술혁신E06

# 중소규모 굴착용 자립식 흙막이 공법 개발연구

---

제1차년도 최종보고서  
2012 . 8 . 29 .

주관연구기관 / (주)씨포텍  
공동연구기관 / 아주대학교

국 토 해 양 부  
한국건설교통기술평가원

## 제 출 문

건설교통부장관 (한국건설교통기술평가원장) 귀하  
이 보고서를 "중소규모 굴착용 자립식 흙막이공법 개발에 관한 연구"의  
과제(세부과제 "1차년도에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2012. 8. 29

주관연구기관명 : (주)씨포텍

주관연구책임자 : 백 진 명

연 구 원 : 이 치 호

" : 이 준 호

" : 김 현 기

" : 황 병 훈

공동연구기관명 : 아주대학교 산학협력단

공동연구책임자 : 유 재 석

|                      |               |                                                                           |                                  |               |                                                                    |
|----------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------|
| 과제고유번호               | 11기술혁신<br>E06 | 해 당 단 계<br>연 구 기 간                                                        | 1차년도<br>(11.12.23<br>~ 12.08.22) | 단 계 구 분       | 1차년도<br>(8개월)<br>/<br>2차년도<br>(24개월)                               |
| 연 구 사 업 명            | 중 사 업 명       | 건설기술혁신사업                                                                  |                                  |               |                                                                    |
|                      | 세부사업명         | 토목시공                                                                      |                                  |               |                                                                    |
| 연 구 과 제 명            | 대 과 제 명       | 중소규모 굴착용 자립식 흙막이공법 개발연구                                                   |                                  |               |                                                                    |
|                      | 세부과제명         |                                                                           |                                  |               |                                                                    |
| 연 구 책 임 자            | 백 진 명         | 해당단계<br>참 여<br>연구원수                                                       | 총 : 10명<br>내부 : 5명<br>외부 : 5명    | 해당단계<br>연 구 비 | 정부 :<br>100,000천원<br>기업 :<br>36,333.672천원<br>계 :<br>136,333.672천원  |
|                      |               | 총연구기간<br>참 여<br>연구원수                                                      | 총 : 10명<br>내부 : 5명<br>외부 : 5명    | 총연구비          | 정부 :<br>437,000천원<br>기업 :<br>149,333.672천원<br>계 :<br>586,333.672천원 |
| 연구기관명 및<br>소 속 부 서 명 | (주) 씨포텍 부설연구소 |                                                                           | 참여기업명                            | (주)씨포텍        |                                                                    |
| 국제공동연구               | 상대국명 :        |                                                                           | 상대국연구기관명 :                       |               |                                                                    |
| 위 탁 연 구              | 연구기관명 :       |                                                                           | 연구책임자 :                          |               |                                                                    |
| 색 인 어<br>(각 5개 이상)   | 한 글           | 자립식 흙막이, 가시설, 굴착, 연약지반                                                    |                                  |               |                                                                    |
|                      | 영 어           | Self supported retaining wall, Temporary Work, Excavation,<br>Poor ground |                                  |               |                                                                    |

## 참여 연구원

주관 연구기관 : (주)씨포텍

책임 연구원 : 백진명 소장

보조 연구원 : 이치호 선임연구원

이준호 선임연구원

김현기 연구원

황병훈 연구원

공동 연구기관 : 아주대학교

책임 연구원 : 한만엽 교수

보조 연구원 : 신중섭 아주대학교 석사과정

정상일 아주대학교 석사과정

이상민 아주대학교 석사과정

조병두 아주대학교 석사과정

## 요 약 문

아치형 벽체 공법은 기존의 중소형 굴착 공법의 문제점들을 해결하기 위하여 개발된 공법으로, 토압을 효과적으로 지지할 수 있는 아치 형상을 갖는 벽체 판넬을 삽입하여 굴착 시 구조적 안전성을 확보하기 위한 흙막이 벽체 공법이다.

아치형 벽체 공법의 특징은 아치형 판넬 벽체를 사용하여 다수의 Sheet-Pile을 시공하는 대신 한 개의 판넬을 시공함으로써 기존 공법에 비해 시공 본수를 줄일 수 있도록 설계 개발하였다. 또한 판넬을 아치형으로 제작함으로써 종방향, 횡방향 강성이 크게 증가하여 토압이 큰 경우에도 외력을 견딜 수 있으며 외력이 대폭 증가하여도 상대적으로 깊은 굴착 심도에서 자립이 가능한 장점이 있도록 설계하였다. 이에 따라, 개선된 작업여건과 강재의 절감으로 인하여 효율적이고 경제적인 흙막이 공사를 수행할 수 있으며, 지반굴착으로 인한 토압 작용 시 변형을 억제할 수 있는 강성이 크기 때문에 흙막이 공사의 안정성을 개선시키는 장점이 있다.

본 연구에서는 1차년도에 주요과제인 벽체 요소부재 개발을 위해 대상 토압을 선정 구조계산을 통하여 기본형 아치형 판넬을 설계, 제작하였으며 단정보완과 최적 부재 선정을 위하여 보강부재 4종을 추가로 제작하여 대상 지반에 대하여 관입성능을 비교하기 위하여 시험시공을 실시하였다.

시험 시공 결과, 관입시간 측정을 통하여 연약지반에서의 아치형 판넬의 시공속도는 Sheet-Pile등의 소형부재보다는 느리지만 다수의 부재를 대체할 수 있음으로 해서 전체적인 작업효율은 3배 정도 향상되는 것으로 나타났다. 또한 관입성능은 단부의 면적에 크게 영향을 받지 않으며, 시공 중 도출된 몇 가지 문제점들은 개선안을 제시하였다.

# 목 차

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 1. 서론 .....                                                 | 9  |
| 1.1 연구 배경 .....                                             | 9  |
| 1.2 시장성 분석 .....                                            | 10 |
| 1.3 연구 목적 .....                                             | 12 |
| 1.4 연구 내용 .....                                             | 13 |
| 2. 유사 흙막이 벽체 공법 .....                                       | 14 |
| 2.1 Sheet-Pile 공법 .....                                     | 14 |
| 2.2 RSW 공법 .....                                            | 16 |
| 2.3 RPRW 공법 .....                                           | 18 |
| 2.4 관련특허 .....                                              | 20 |
| 2.4.1 아치형 강판 파일을 이용한 흙막이 가시설 구조 .....                       | 20 |
| 2.4.2 아치형 강판파일과 H-Pile을 이용한 흙막이공법 .....                     | 21 |
| 2.4.3 아칭효과를 이용한 보강형 자립식 흙막이 구조체 및 이를 이용한<br>지중굴착 시공방법 ..... | 23 |
| 2.4.4 철재 토류판 설치구조 및 그 시공방법 .....                            | 24 |
| 2.5 기존 공법들의 문제점 .....                                       | 25 |
| 3. 아치형 벽체 공법 .....                                          | 26 |
| 3.1 개요 .....                                                | 26 |
| 3.2 아치형 벽체 공법의 구성 .....                                     | 27 |
| 3.3 시공 순서 .....                                             | 31 |
| 4. 아치형 벽체 공법 설계 .....                                       | 32 |
| 4.1 토압 계산 .....                                             | 32 |
| 4.1.1 EXCAV 프로그램 해석 순서 .....                                | 33 |
| 4.1.2 EXCAV INPUT .....                                     | 34 |
| 4.1.3 토압 산정 결과 .....                                        | 35 |
| 4.2 단면 설계 .....                                             | 36 |
| 4.2.1 아치형 판넬 .....                                          | 37 |
| 4.2.2 설계 결과 .....                                           | 40 |
| 4.2.3 판넬 상세 설계 .....                                        | 41 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 5. 시험 시공 .....                       | 45  |
| 5.1 시험 개요 및 계획 .....                 | 45  |
| 5.1.1 시험 개요 .....                    | 45  |
| 5.1.2 시험 목적 .....                    | 45  |
| 5.1.3 준비 사항 .....                    | 45  |
| 5.1.4 시공 계획 .....                    | 46  |
| 5.1.5 계측 계획 .....                    | 47  |
| 5.2 현장 개요 .....                      | 48  |
| 5.3 시험 시공 결과 및 분석 .....              | 51  |
| 5.3.1 Pile 및 RPT(보강판)의 관입 비교 .....   | 51  |
| 5.3.2 아치형 판넬의 관입 비교 .....            | 53  |
| 5.3.3 Pile 및 RPT(보강판)의 인발 비교 .....   | 55  |
| 5.3.4 아치형 판넬의 인발 비교 .....            | 57  |
| 5.3.5 관입 및 인발 결과 분석 .....            | 59  |
| 5.3.6 시공 경과 시간 측정 및 분석 .....         | 61  |
| 5.3.7 경제성 분석 .....                   | 64  |
| 5.3.8 시험 시공 시 문제점 분석 및 개선사항 제시 ..... | 66  |
| 6. 결론 .....                          | 67  |
| 7. 참고문헌 .....                        | 68  |
| 7. 부록 .....                          | 69  |
| A1. 아치형 판넬 제작도 .....                 | 70  |
| A2. 물량표 .....                        | 76  |
| A3. EXCAV Output .....               | 77  |
| A4. 계측 데이터 .....                     | 86  |
| A5. 시공 단계별 사진 .....                  | 100 |

## <그림 차례>

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 그림 1.1. 세계 상위 15개국의 연도별 건설시장 규모                               | 11 |
| 그림 1.2. 개발 기술의 개선 목표                                          | 12 |
| 그림 2.1. Sheet-Pile 공법 평면도                                     | 13 |
| 그림 2.2. Sheet-Pile의 삽입 모습                                     | 15 |
| 그림 2.3. Sheet-Pile 공법 적용 현장                                   | 15 |
| 그림 2.4. RSW 공법의 평면도                                           | 16 |
| 그림 2.5. RSW 공법의 시공 순서 및 사진                                    | 17 |
| 그림 2.6. RPRW 공법의 평면도                                          | 18 |
| 그림 2.7. RPRW 공법의 시공 순서 및 사진                                   | 19 |
| 그림 2.8. 아치형 강판 파일을 이용한 흙막이 가시설 구조의 대표도                        | 20 |
| 그림 2.9. 아치형 강판파일과 H-Pile을 이용한 흙막이공법의 대표도                      | 22 |
| 그림 2.10. 아칭효과를 이용한 보강형 자립식 흙막이 구조체 및 이를 이용한 지중굴착<br>시공방법의 대표도 | 23 |
| 그림 2.11. 철재 토류판 설치구조 및 그 시공방법                                 | 24 |
| 그림 3.1. 각 공법들의 평면도                                            | 26 |
| 그림 3.2. 아치형 벽체 공법의 설치 전면 형상 개념도                               | 27 |
| 그림 3.3. 아치형 벽체 공법의 설치 내부 형상 개념도                               | 27 |
| 그림 3.2. 아치형 벽체 공법을 적용한 관로형 평면 개념도                             | 28 |
| 그림 3.3. 아치형 절곡판넬을 사용했을 경우 공법 적용 평면 개념도                        | 29 |
| 그림 3.4. ㄱ형 절곡판넬을 사용했을 경우 공법 적용 평면 개념도                         | 29 |
| 그림 3.5. 자립식인 경우 단면 개념도                                        | 30 |
| 그림 3.6. 버팀보 겸용 단면 개념도                                         | 30 |
| 그림 4.1 아치형 벽체 공법 적용 현장의 지질 단면도                                | 32 |
| 그림 4.2 EXCAV 프로그램 해석 설계순서                                     | 33 |
| 그림 4.3 EXCAV Input Data                                       | 34 |
| 그림 4.4 굴착 단계별 EXCAV 프로그램 해석 Output 그래프                        | 35 |
| 그림 4.5 아치형 판넬 단면치수                                            | 37 |
| 그림 4.6 기본형 아치형 판넬                                             | 41 |
| 그림 4.7 아치형 판넬 보강안                                             | 43 |
| 그림 4.8 RPT(보강판) 부재                                            | 43 |
| 그림 4.9 RPT(보강판) 시공방법                                          | 43 |
| 그림 4.10 RPT(보강판) 전개도                                          | 44 |
| 그림 5.1 시험시공의 측정 목적                                            | 45 |
| 그림 5.2 관입속도 측정을 위한 판넬 표기방법 및 측정방법                             | 47 |
| 그림 5.3 시험 장소 사진                                               | 48 |
| 그림 5.4 시험 장소 도면                                               | 48 |
| 그림 5.5 시험 현장의 시추주상도(1)                                        | 49 |
| 그림 5.6 시험 현장의 시추주상도(2)                                        | 50 |
| 그림 5.7 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 관입깊이 평균값 비교 그래프                   | 51 |
| 그림 5.8 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 관입깊이 비교 그래프                       | 52 |

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 그림 5.9 아치형 판넬(AP)의 시간별 관입깊이 평균값 비교 그래프 .....       | 53 |
| 그림 5.10 아치형 판넬(AP)의 시간별 관입깊이 비교 그래프 .....          | 54 |
| 그림 5.11 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 인발깊이 평균값 비교 그래프 ..... | 55 |
| 그림 5.12 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 인발깊이 비교 그래프 .....     | 56 |
| 그림 5.13 아치형 판넬(AP)의 시간별 인발깊이 평균값 비교 그래프 .....      | 57 |
| 그림 5.14 아치형 판넬(AP)의 시간별 인발깊이 비교 그래프 .....          | 58 |
| 그림 5.15 부재별 관입 및 인발 시간 비교 그래프 .....                | 60 |
| 그림 5.16 단면적 증가에 따른 관입 및 인발 시간 비교 그래프 .....         | 60 |
| 그림 5.17 시험 작업 순서도 .....                            | 61 |
| 그림 5.18 부재별 시공단계누적 시간 비교 그래프 .....                 | 63 |
| 그림 5.19 개발공법 현장시공(가정) 평면도 .....                    | 64 |
| 그림 5.20 Sheet Pile 공법 현장시공 평면도 .....               | 64 |

<표 차례>

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 표 1.1 건설수주 통계연보 .....               | 10 |
| 표 1.2 주요 지역별 건설시장 연평균 증가율 전망 .....  | 11 |
| 표 4.1 토압 산정을 위한 Input Data .....    | 34 |
| 표 4.2 지반해석 프로그램에 의한 구조해석 결과정리 ..... | 35 |
| 표 4.3 아치형 벽체 공법의 사용부재 물성치 .....     | 36 |
| 표 4.4 보강 아치형 판넬 상세 .....            | 44 |
| 표 5.1 시험시공에 필요한 총 부재 및 수량 .....     | 46 |
| 표 5.2 실험 세부 내용 및 소요시간 .....         | 47 |
| 표 5.3 관입 시간 비교표 .....               | 59 |
| 표 5.4 인발 시간 비교표 .....               | 59 |
| 표 5.5 부재별 시공단계 평균 경과 시간 .....       | 62 |
| 표 5.6 공법별 현장시공(가정) 비용 비교 .....      | 65 |
| 표 5.6 시험 시공 시 문제점과 해결책 .....        | 66 |

## 1. 서론

### 1.1. 연구 배경

건설 공사의 대형화와 건설정보화의 진전에 따라 건설기술은 설계, 시공, 자재 등 각 분야별로 많은 발전이 있었다. 그러나 가시설 공사는 통일된 설계기준이 명확히 확립되지 않았으며, 가시설 구조물이 공사 완료 후 철거 되는 임시 시설이라는 점에서 건설 기술자의 경험에 의존한 비과학적인 시공 방법을 답습하여 왔다. 이로 말미암아, 가시설 공사는 건설 안전에 가장 취약한 공종으로 많은 인명사고와 재산 피해를 가져 왔다. 그리고 현재의 가시설 공법의 경우는 수많은 버팀보가 역학적으로 비효율적으로 사용되어 비경제적이고 굴착을 위한 건설장비의 진출입이 불편할 뿐만 아니라 중장비의 활동 반경의 확보가 쉽지 않으므로 작업의 효율성을 기대하기 힘들며, 지반 변위를 억제하는 기능이 약하여 주변 지반 침하의 우려까지 있다.

또한, 교각가시설, 상하수도관 설치 및 케이블 매설 등으로 인하여 지하 공간의 이용률이 증가하고 있다. 이와 같은 소규모 소심도 굴착은 규모가 작음에도 불구하고 여러 가지 문제점이 발생하고 있다. 천공 및 향타로 인한 소음 및 진동 발생, 부재 및 토류판 설치 등의 공정이 복잡하여 투입 인력 및 장비 과다 문제, 대형장비 진입에 따른 넓은 부지 공간의 필요성 문제 등이 발생하고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 다양한 흙막이 공법 및 지반 안정처리 공법의 연구 개발과 기존 가시설 공법의 안전성에 대한 연구가 수행되고 있다. 그러나 이러한 연구개발의 내용도 대부분 기존의 흙막이 공법의 약간의 변형에 불과할 뿐 문제점을 해결하기 위한 근본적인 개념의 변화는 찾아 볼 수 없었다.

이러한 기존 흙막이 공법의 문제점들을 해결하고자 본 연구에서는 중소규모 굴착 공사에 적합하도록 상용되고 있는 시공 장비의 성능을 고려하여 벽체의 강성을 증대시킨 자립식 흙막이 공법을 개발함으로써 강재의 절감과 개선된 작업여건으로 경제적인 흙막이 공사를 수행할 수 있다. 또한, 강성이 큰 벽체로 굴착면을 지지하므로 내부 가시설 없이도 지반 변형을 억제할 수 있고, 거푸집 기능을 통합하여 별도의 거푸집 공정을 생략할 수 있으며, 본 구조물의 콜드 조인트 발생을 없앨 수 있다.

이와 같이 본 연구에서는 중소규모 굴착 현장에 보다 효율적이고 경제적인 자립식 흙막이 공법의 개념을 정립하고, 요소 부재를 개발하여 시험시공을 통해 개발 기술의 안전성과 시공성을 검증함으로써 새로운 자립식 흙막이 공법을 개발하고자 한다.

본 연구의 실험시공이 진행된 논산 구간에는 지반조건이 매우 연약한 점토질 지반으로써 기존의 흙막이 벽체 공법인 Sheet-Pile 공법이 사용되어지고 있다. 하지만 Sheet-Pile 공법은 10m 길이의 Sheet-Pile을 100개 이상 삽입해야 하고 별도의 가시설을 설치해야하므로 교각 1개소 당 공사 기간이 일주일 이상 걸리고 공사비용도 많이 든다. 따라서 점토질 지반에서 Sheet-Pile을 대체할 수 있는 흙막이 벽체 공법이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 아치형 판넬을 이용하여 삽입개수를 줄이고, 벽체를 형성함으로써 벽체의 강성을 증대시켜 별도의 가시설이 필요 없도록 하여 공사기간과 비용을 절약시키고자 한다.

## 1.2. 시장성 분석

본 연구의 경제적인 파급효과를 분석하기 위하여 국내외 가시설 시장 규모를 조사, 분석하였다. 국내 가시설 공사의 시장 규모는 표 1.1과 같이 통계청 건설수주 통계연보 기준으로 작성하였다.

2009년 국내 토공비용의 총액은 11조 5,248억원에 달하였으며, 이 중 가시설 공사비가 약 20% 가량 차지하므로, 국내 총 가시설 시장규모는 약 2.3조원으로 추정된다. 이중 중소규모 가시설의 규모는 약 1.6조원으로 토목분야가 90% 이상을 차지하고 있다.

표 1.1 건설수주 통계연보 (통계청, 2009년, 억원)

| 세 부 공 종       | 금 액       | 토공 비용<br>(비율(%)) |        | 중소규모 가시설 |
|---------------|-----------|------------------|--------|----------|
| 지 하 철         | 48,908    | 2,233            | (4.6)  | 446      |
| 교 량           | 48,865    | 820              | (1.7)  | 164      |
| 철 도           | 61,240    | 2,855            | (4.7)  | 571      |
| 상하수도, 수로      | 90,030    | 8,098            | (9.0)  | 162      |
| 도 로           | 176,403   | 25,138           | (14.3) | 5,028    |
| 터 널           | 18,601    | 7,578            | (40.7) | -        |
| 댐, 간척, 항만, 공항 | 49,232    | 2,242            | (4.6)  | -        |
| 기타토목시설        | 229,503   | 32,987           | (14.4) | 6,597    |
| 토 목 합 계       | 803,476   | 97,722           | (12.2) | 14,426   |
| 단독 및 연립주택     | 31,436    | 246              | (0.8)  | 49       |
| 아 파 트         | 449,209   | 5,993            | (1.3)  | -        |
| 주거/산업경용건물     | 68,338    | 997              | (1.5)  | 199      |
| 시장, 백화점, 쇼핑센터 | 56,566    | 586              | (1.0)  | 117      |
| 사 무 실 빌 딩     | 91,897    | 1,248            | (1.4)  | 250      |
| 관 공 서 건 물     | 60,011    | 1,060            | (1.8)  | 212      |
| 호텔 , 숙박시설     | 27,525    | 251              | (0.9)  | -        |
| 학 교 , 병 원     | 136,516   | 2,006            | (1.5)  | -        |
| 종교, 문화재, 전통건물 | 15,873    | 442              | (2.8)  | -        |
| 운동장, 전시, 집회장소 | 48,079    | 1,276            | (2.7)  | -        |
| 기타건축시설        | 365,910   | 3,421            | (0.9)  | 684      |
| 건 축 합 계       | 1,351,358 | 17,526           | (1.3)  | 1,512    |
| 합 계           | 2,154,834 | 115,248          | (5.3)  | 15,938   |

국외 기술은 대부분 국내에서 사용되는 흙막이 기술과 유사한 경향을 보인다. 중대형 현장의 경우에는 H-Beam이나 강관을 버팀 부재로 하는 버팀보 공법이 많이 사용되고 있으며, 사유지 침범의 우려가 없는 개활지의 경우에는 어스앵커 또는 네일링 공법이 사용된다.

국외의 경우에도 지하 공간의 개발 확대와 도시화가 진행됨에 따라 점차 중소규모 굴착 현상이 증가되는 추세지만, 중소규모 굴착에 적합한 흙막이 공법의 부재로 인하여 일본, 필리핀, 싱가포르 등과 같이 지반 조건이 불리한 국가의 경우에도 기존의 비효율적이고 비경제적인 흙막이 공법이 사용되어져 왔다.

건설업은 국지적 성향이 강한 산업 특성상 대형 종합건설업체의 해외 진출은 미비한 반면, 특화된 전문건설기술 업체는 다양한 국가에 진출하여 다국적 기업으로 성장해왔다. 그러나 흙막이 분야에서는 국내와 마찬가지로 독보적 기술력을 갖추고 있는 기업을 찾아볼 수 없다. 따라서, 본 연구개발을 통한 기술력 및 중국으로의 기술 수출 경험을 바탕으로 해외 진출을 할 수 있을 것이다.

세계 각국의 건설시장의 지출이력, 투자현황 및 리스크를 측정해오고 있는 미국의 경제연구소인 Global Insight Inc.([www.globalinsight.com](http://www.globalinsight.com))에 따르면 2011년 세계 건설 시장 규모는 5조 8,000억 달러로써 2006~2011년 기간에는 연평균 4.6% 증가하였고, 2011~2016년 기간 중에는 5.6% 증가를 전망하면서 향후 10년 동안 연평균 4~5%의 높은 성장세를 예상하고 있다. 이 중 가시설 공사비의 비중은 약 2%인 1,160억 달러(한화 약 116조 원)에 달하는 것으로 추정된다. 그림 1.1은 세계 상위 15개국의 연도별 건설시장 규모이며, 표 1.3은 주요 지역별 건설시장 연평균 증가율 전망이다. 지역별로는 유럽, 미국, 일본 등 선진국들의 성장이 정체되는 반면, 일본을 제외한 아시아 지역과 중동, 중남미 지역이 성장을 주도할 것으로 전망된다.

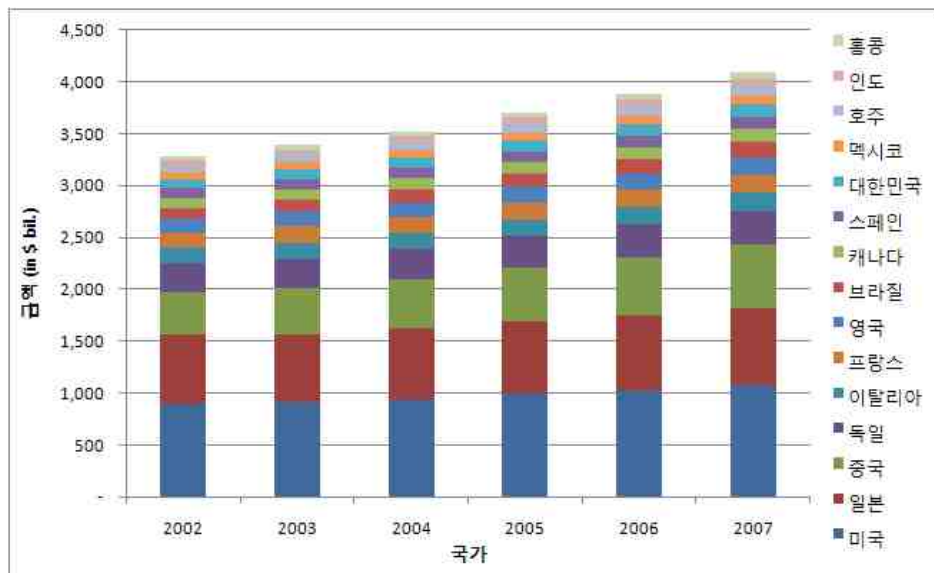


그림 1.1 세계 상위 15개국의 연도별 건설시장 규모(2002~2007년)

표 1.2 주요 지역별 건설시장 연평균 증가율 전망(2006년~2016년)

| 구 분    | 아시아  | 중동   | 중남미  | 북미  | 서유럽 |
|--------|------|------|------|-----|-----|
| 연평균(%) | 10.5 | 10.9 | 10.6 | 1.6 | 2.0 |

### 1.3. 연구 목적

본 연구는 점토질 지반에서 일반적으로 쓰이는 흙막이 가시설 벽체인 Sheet-Pile 공법을 대체하여 구조적으로 안전하고 경제적인 새로운 공법을 개발하는데 그 목적이 있다.

본 연구에서 개발한 아치형 벽체 공법은 기존의 Sheet-Pile 보다 무게는 2.2배 정도 증가 되지만 간격을 2500 mm로 늘려 삽입 개수를 줄이고, 아치 형상으로 강성을 증대 시켜 자립식으로 벽체를 형성하여 별도의 가시설이 없도록 하며, 아치형 벽체 자체가 거푸집역할을 하여 시공이 용이한 공법을 개발하려한다.

최대 굴착가능 깊이 4~5m인 중소규모 현장을 대상으로 하였으며, 굴착깊이인 2m이내의 관로매설 현장에서는 버팀없이 자립하여 본 공법을 적용하려한다.

또한, 무게가 2~3ton인 아치형 판넬을 기존의 건설 장비로 충분히 시공이 가능하도록 하여야 하고, 장비 비용의 증가가 없는 것이 목표이다.

H-Pile과 아치형 판넬의 조인트부에서 누수가 없어야 하고 시공이 용이하며 전체적으로 안전한 흙막이 벽체 공법이 될 수 있도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 연구 과제는 중소규모 굴착에 적합한 자립식 흙막이 공법을 개발함으로써, 강재 사용량을 감소시키고 간편한 시공 방법을 통하여 기존 공법들의 문제점을 해결할 수 있는 경제성이 높고 시공성이 우수한 흙막이 공법의 실용화를 최종목표로 한다.

본 연구는 기존 공법들의 문제점들을 토대로 개선시킨 이론적 개념을 통해 공법을 현실화하고, 실증 연구를 통하여 발전시키고 실용화하기 위함이다.

신공법을 완성하기 위한 요소부재와 시공기법을 개발하고, 현장 시험시공 및 계측을 통하여 공법의 이론을 검증하고, 보완점을 파악하여 개선안을 도출하며, 본 연구의 안전성을 확보하고자 한다. 더불어, 공정 효율을 증대하여 그림 1.1과 같이 기존 공법 대비 공사비용 15%절감, 공사기간 15%단축을 목표로 한다.

이와 같은 과정을 통하여 공법을 실용화하기 위한 구조계산서, 지침서 등을 명문화하고 실질적인 사업화를 추진하여 중소규모 지반굴착 분야에 개발 기술을 확산하고자 한다.



그림 1.2 개발 기술의 개선 목표

#### 1.4. 연구 내용

1. 본 연구를 수행함에 있어, 먼저 국내외 흙막이 가시설 벽체 공법 및 건설 실태와 국내외 관련 특허를 조사하여, 최적공법인 아치형 벽체 공법의 개념정립 및 개발을 하였다.
2. 논산 시험시공 현장의 토질 정수를 가지고 EXCAV/W 프로그램을 사용하여 흙막이 벽체 해석을 수행하였다.
3. EXCAV/W 프로그램으로 산출된 토압을 근거로 아치형 판넬의 구조 안전성을 판단하였다.
4. 아치형 벽체 공법의 아치형 판넬을 제작함에 있어 평판의 손망실을 최소화 하며, 제작비용이 감소되도록 크기 및 두께를 조정하였다.
5. 아치형 벽체 공법의 최적요소부재 선정을 위해 초기 개발 아치 판넬에 보강안을 추가하여 실험체를 제작하였다.
6. 직접 시험시공을 실시하고 계측을 통하여 H-Pile과 Sheet-Pile과의 관입성능 비교를 통하여 최적 요소부재를 판단하였다.

## 2. 유사 흙막이 벽체 공법 및 특허

### 2.1. Sheet-Pile 공법

#### 2.1.1. 공법 개요

Sheet-Pile(강널말뚝) 공법은 널말뚝의 이음부를 물리게 하여 진동해머, WATER JET등을 이용하여 지중에 타입하여 연속벽(차수벽)을 형성하는 공법으로서, 지수벽과 토류벽의 동시역할을 하는 공법이다.

#### 2.1.2. 공법의 주요 특징

- ① 모든 심도에 적용이 가능
- ② 운반 시 적재용적이 작음
- ③ 토압상태에 따라 사용규격이 용이함
- ④ 심도에 따라 사용규격 선택이 용이함(소, 중, 대형 다양)
- ⑤ 공용화 된 차수 공법
- ⑥ 시공 후 관리가 필요 없음

#### 2.1.3. 도면 및 시공 순서

아래 그림 2.1은 Sheet-Pile이 이음부가 물려 연결되어있는 평면도의 일부이며, 그림 2.2는 Sheet-Pile의 삽입 사진, 그림 2.3은 Sheet-Pile 공법 적용 현장사진이다.

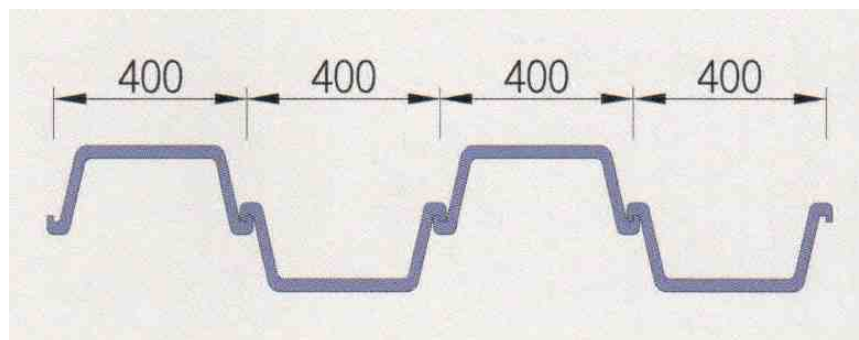


그림 2.1 Sheet-Pile 공법 평면도



그림 2.2 Sheet-Pile의 삽입 모습



그림 2.3 Sheet-Pile 공법 적용 현장

## 2.2. R.S.W 공법

### 2.2.1. 공법 개요

R.S.W(Reformed Steel plate Wall) 공법은 (주)태창기초에서 개발한 공법으로써 H-Pile을 천공 또는 직항타로 근입하고, H-Pile 사이에 절곡한 강판을 바이브로해머로 근입시켜 벽체를 조성한 후, 굴착하면서 버팀을 설치하는 강판흙막이 벽체 공법이다.

### 2.2.2. 공법의 주요특징

- ① H-Pile과 강판의 완전밀착으로 벽체 차수성 확보
- ② 벽체 조성 후 굴착하므로 여굴이 전혀 없고, 지반침하 방지
- ③ 강판은 지반조건에 따라 근입깊이 조정이 용이함 (경제성, 시공성)
- ④ H-Pile 근입장부 암천공, Water Jet 시공 시 공사비 저렴, 공기단축
- ⑤ 시공본수 적고, 자재 전량회수 재사용
- ⑥ 합벽시공 가능, 썬기 박기 없음, 맞물림인발과 맞물림삽입 발생 없음
- ⑦ 절곡강판 사용으로 보조지지대 없이 항타삽입성 우수
- ⑧ 하부 풍화대층 토류판 조합시공 용이 (공사비 저렴)
- ⑨ 호박돌층의 저항 미삽입부 Steel Plate는 굴착과 동시 타입 가능
- ⑩ 벽체 면정리 공정 불필요
- ⑪ 조밀한 퇴적층 Water Jet 적용 가능

### 2.2.3. 도면 및 시공 순서

아래 그림 2.4는 RSW 공법의 평면도이며, 그림 2.5는 RSW 공법의 시공공정별 사진이다.

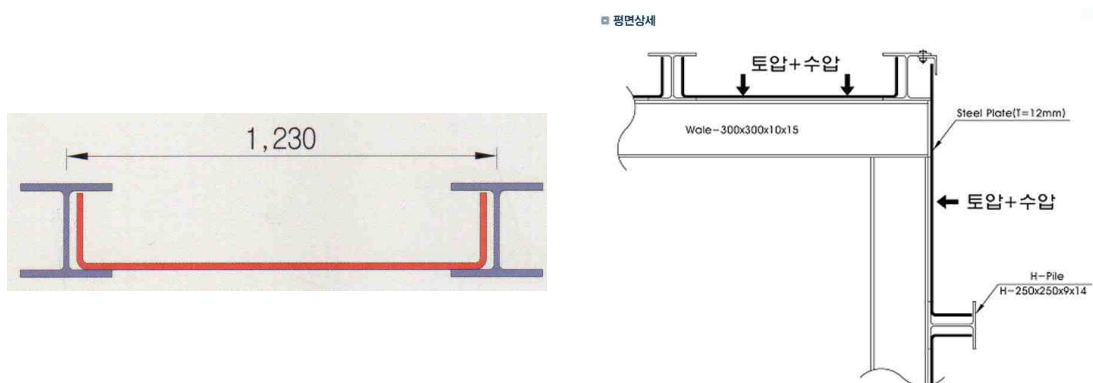


그림 2.4 RSW 공법의 평면도



(a) 가이드 H-Pile 제작



(b) Steel Plate 제작



(c) 가이드 빔 설치



(d) H-Pile 삽입



(e) 간격대(항타거치대) 설치



(f) Steel Plate 삽입



(g) 코너부 Steel Plate 삽입



(h) 굴착 및 버팀보 설치

그림 2.5 RSW 공법의 시공 순서 및 사진

## 2.3. R.P.R.W 공법

### 2.3.1. 공법 개요

RPRW(Retention Pile Installed Retaining Wall)공법은 (주)백경지엔씨에서 개발한 공법으로써 굴착 배면측과 전면측에 소정의 각도로 근입되는 2개의 억지말뚝이 두부에서 서로 마찰 없는 힌지로 연결되어 토압작용에 토류 구조물과 토압과의 상호작용에 의해 효율적인 대응으로 안정성을 확보할 수 있는 구조이고, 배면 경사말뚝과 전면말뚝은 각각 축방향 인발력과 압축력에 저항하고 또한 수평토압에 저항하는 구조로 된 흙막이 벽체 공법이다.

### 2.3.2. 공법의 주요특징

- ① 굴착면측 공간에 제약이 없어 시공성이 양호함.
- ② 배면측에 침범 범위가 작으며 별도의 지보재가 필요 없음.
- ③ 토공작업 및 구조물 공사 시 시공성이 양호함.
- ④ 시공조건 향상에 따른 공기단축에 의해 비용을 절감할 수 있음.

### 2.3.3. 대표 시공사진

아래 그림 2.6은 RPRW 공법의 평면도이며, 그림 2.7은 RPRW 공법의 시공공정별 사진이다.

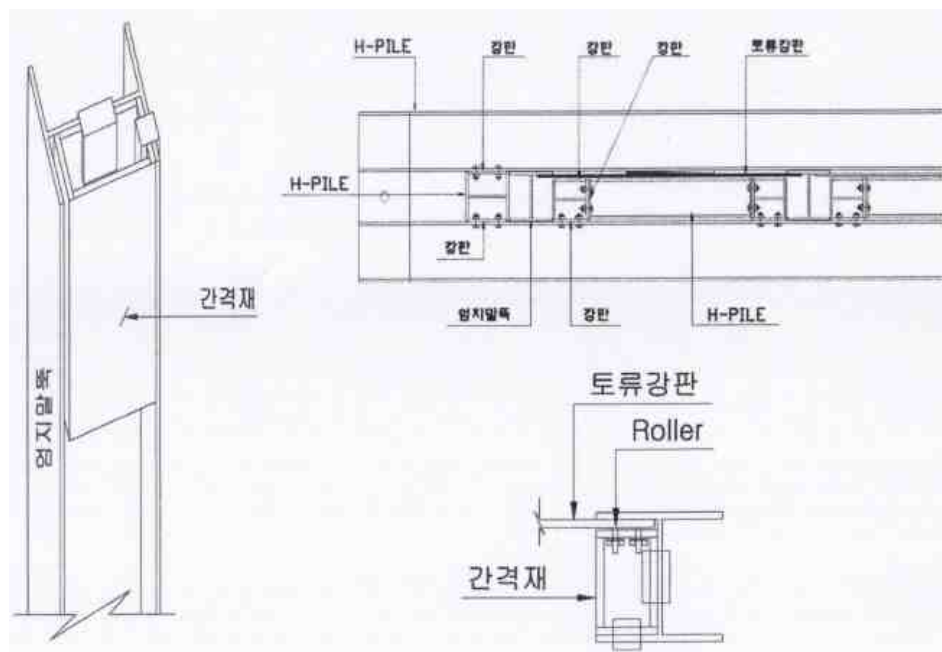


그림 2.6 RPRW 공법의 평면도



(a) 부지 정리 및 가이드 빔 설치



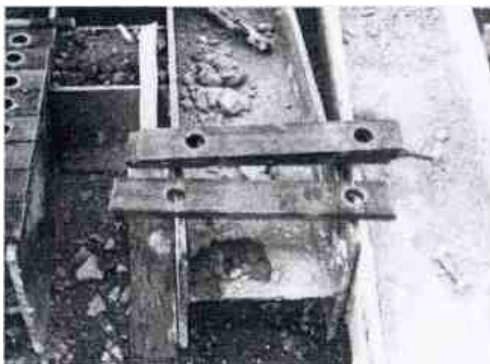
(b) 엄지말뚝 압입



(c) 토류강판 압입



(d) 배면 엄지말뚝 압입



(e) 힌지 체결 강판 제작



(f) 두부 힌지 체결



(g) 힌지체결 완료



(h) 굴착

그림 2.7 RPRW 공법의 시공 순서 및 사진

## 2.4. 관련 특허

### 2.4.1. 아치형 강판 파일을 이용한 흙막이 가시설 구조

본 발명은 아치형 강판 파일을 이용한 흙막이 가시설 구조에 관한 것이다.

아치형 강판 파일을 이용한 흙막이 가시설 구조는, 일정한 간격으로 배치되어 있는 다수 개의 H-Pile과 각 H-Pile의 중앙 기둥 양측에 고정되어 있되, 하단이 H-Pile 저부와 이격되어 흠을 형성하며, 내측으로 그라우팅호스가 삽입되는 호스가이드부재와 H-Pile의 하단과 호스가이드부재 하단사이의 흠에 양측 끝단이 끼워지며, 중앙부분은 일정한 곡률로 라운드져 형성되어 H-Pile과 함께 토류벽체를 이루는 아치형 강판 파일과 그라우팅호스로부터 그라우트재가 공급되어 토류벽체와 지중 사이에 그라우트재가 채워져 형성된 그라우트 층으로 구성된다.

본 발명에 의해, 벽체 강성을 증가시킴과 동시에 토압을 분산시키고, 가시설 내부를 보강하여 버팀보 간격이 최소화되고, 말뚝 간격을 크게 하여 시공속도를 단축시키고, 공사비를 절감할 수 있으며, H-Pile 및 아치형 강판 파일을 재사용할 수 있게 되고, 차수성을 용이하게 하고, 벽체 강성을 증가시킴으로써 벽체 변위량을 줄여 안정성이 향상되며, 벽체 강성이 커 어스앵커 공법이나 쏘일네일링공법 등과 같이 타 지지공법과 병행하여 시공할 수 있게 된다.

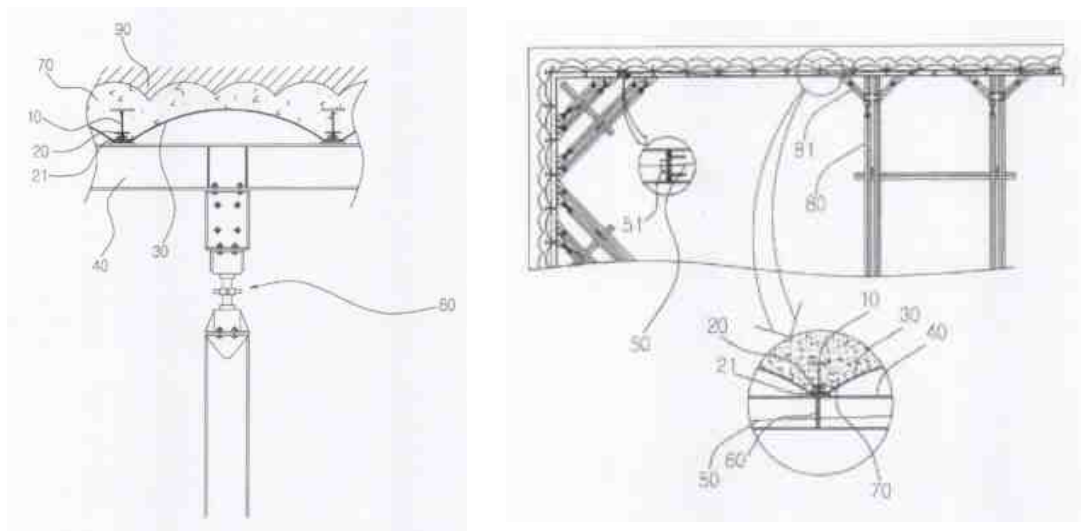


그림 2.8 아치형 강판 파일을 이용한 흙막이 가시설 구조의 대표도

#### 2.4.2. 아치형 강판파일과 H-Pile을 이용한 흙막이공법

본 발명은 지하구조물을 설치하기 위한 흙막이 공사 중 연속적인 지반천공을 실시하고 조합된 H-Pile과 강판파일을 이용한 흙막이벽 공법에 관한 것이다.

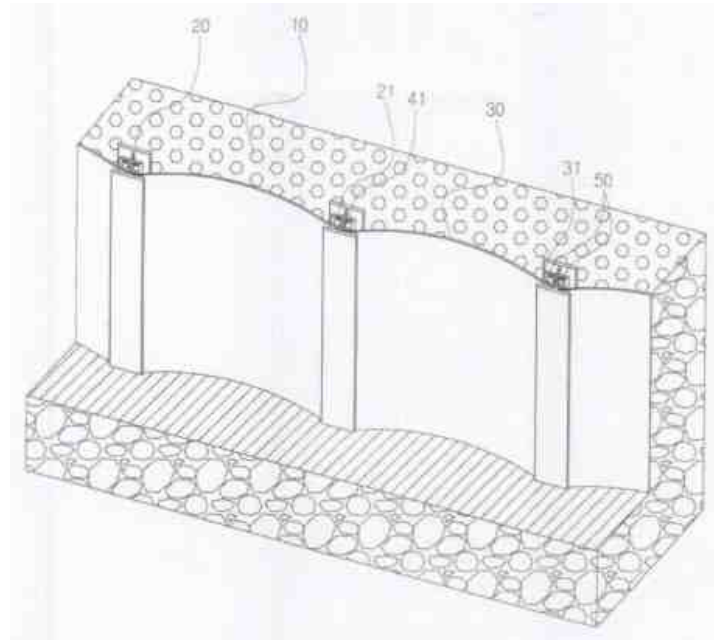
굴착라인을 따라 천공중장비를 이용하여 연속천공을 실시하고 그라우팅 호스와 연속흙이 구비되어 있는 H-Pile을 삽입한다. H-Pile 사이의 연속흙을 이용하여 강판파일을 삽입하고 H-Pile과 강판파일을 고정한다. 이때 연속흙은 H-Pile 저부에서 상부로 연결되어져 있다. 이후 천공지반을 채움 및 다짐을 실시하고 기설치된 그라우팅 호스를 통해 시멘트 밀크나 벤토나이트 용액 같은 약액을 주입하여 천공으로 교란된 지반을 보강하고 H-Pile과 강판파일사이를 밀실하게 하여 치수효과를 더욱 향상시킨다. 따라서 배면지반의 지반침하를 방지하고, 흙막이벽체의 지중수평변위 억제 등의 효과로 안정성을 향상시키려는 목적인 것이다. 상기 공정을 반복하여 흙막이벽을 미리 형성한 상태에서 단계별 터파기를 실시하고 또한 지하구조물 설치 완료 후 사용강재의 인발이 쉽고 재활용할 수 있어 경제적이고 안정성이 높은 흙막이벽 공법에 관한 것이다.

이에 본 발명의 흙막이벽체 설치방법은 굴착라인을 따라 일정 단면적을 갖는 지반 천공 중장비를 이용하여 벽체 연속 천공단계, 그라우팅 호스와 연속흙이 구비되어 있는 H-Pile 삽입단계, H-Pile 사이의 천공흙을 통해 H-Pile에 형성된 연속흙과 강판파일 날개가 양쪽으로 끼워지며 강판파일이 삽입되는 단계, 기장착 되어있는 볼트를 이용하여 H-Pile과 강판파일 날개의 고정단계, 천공지반 다짐단계, 천공으로 교란된 지반을 보강하고 H-Pile과 강판파일 사이를 더욱 밀실하게 하여 지하수 유입을 차단하여 배면지반의 지반침하를 방지하기 위하여 기장착된 그라우팅 호스를 통해 그라우팅 주입단계, 굴착면으로부터 터파기단계, 목적 구조물 완료 후 크레인 등을 이용하여 강재인발단계를 포함하여 수행되는 것을 특징으로 한다.

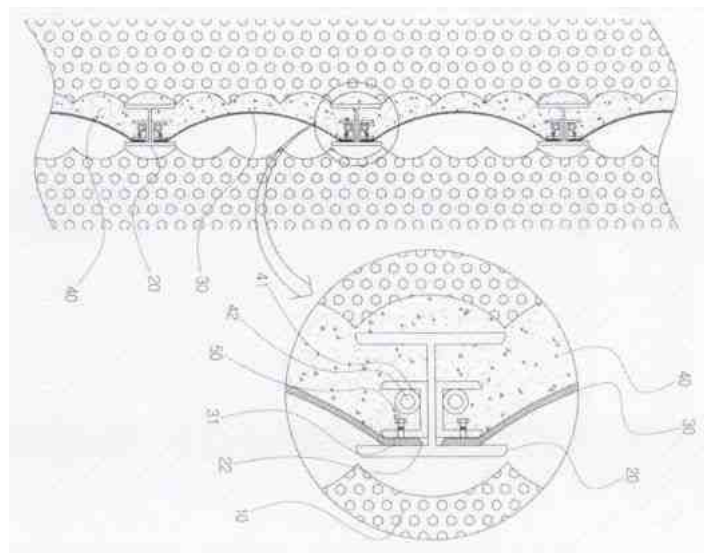
또한, 굴착선에 따라 연속천공 작업이 실시되고 천공위치로부터 H-Pile과 강판파일을 삽입되 서로 구속하고 천공으로 교란된 지반의 보강과 지하 굴착 시 차수효과를 위한 천공구간 다짐 및 지반그라우팅을 통한 연속적인 흙막이벽 설치에 있어서, 상기 H-Pile에는 천공으로 교란된 지반을 보강하기 위해 그라우팅 호스가 포함된 그라우팅관과 강판파일이 잘 끼워지도록 흙이 상부에서부터 저부까지 연결되어 있는 연속흙이 있으며, 강판파일은 H-Pile 간격이 큰 경우 부재의 휨강성, 전단강도가 향상됨과 동시 토압을 축방향으로 분산시켜 흙막이벽체의 휨강성을 향상시키는 일정 곡률을 가진 아치형상을 특징으로 한다.

이에 따라, 본 발명은 굴착선을 따라 연속적인 흙막이벽을 미리 형성하여 따로 차수공법을 병행하지 않아도 되고 흙막이벽체 휨강성이 커짐과 굴착 시 토압이 분산되어 흙막이벽을 지지하는 버팀보를 없애거나 줄임으로서 건축물 시공 시 강재의 간섭이 적어 공기가 빠르고 콘크리트 시공이음을 줄여 품질을 향상시키는 장점이 있다.

또한, 목적구조물 완료 후 H-Pile, 강판파일이 콘크리트 속에 묻혀있지 않아 인발에 의한 회수가 쉽고 영구적으로 사용할 수 있어 경제적이다.



(a) 공법 적용 시 굴착 사시도



(b) 공법 적용 시 평면도

그림 2.9 아치형 강판파일과 H-Pile을 이용한 흙막이공법의 대표도

### 2.4.3. 아칭효과를 이용한 보강형 자립식 흙막이 구조체 및 이를 이용한 지중굴착 시공방법

본 발명은 토립자와 시트패널사이의 아칭효과를 이용하여 보강토방식의 자립식 토괴를 형성하고, 굴착공간으로 작용되는 배면토압을 자립식 토괴의 자중(W)에 의하여 지지하도록 한 새로운 개념의 보강형 자립식 흙막이 구조체를 제공하고자함에 그 목적이 있고,

아칭효과를 이용한 보강형 자립식 흙막이 구조체가 굴착공간의 배면에 위치됨으로써 고층건물이 밀집된 지역의 작은 공간에서의 굴착작업이 용이할 뿐만 아니라 시공완료 후 시트파일의 회수가 용이하게 함에 다른 목적이 있다.

본 발명의 구성은 토류판이 삽입되는 엄지말뚝의 한쪽 플랜지에 종방향으로 시트패널 연결·결합부가 일체로 형성된 엄지말뚝을 간격 B로 지반에 수직되게 설치하고, 상기 시트패널 연결·결합부에 시트패널 연결부를 연결·결합하고 이에 연이어 시트패널을 연결·결합하되 흙의 내부마찰각  $\phi=10\sim34^\circ$ 의 범위와, 그리고 점착력  $C=0.0\sim5.0(\text{ton}/\text{m}^2)$ 의 범위에서 연속된 시트패널의 길이 L과 시트패널간의 간격 B가  $0.5 \leq L/B \leq 3.0$ 의 관계가 되게 하여 아칭효과에 의해 배면토압이 전면 토류판에 작용되지 않도록 한 구성이다.

이와 같이 토립자와 시트패널사이의 아칭효과를 이용하여 토류판에 배면토압이 작용되지 않는 보강토방식의 자립식 토괴를 형성함으로써 굴착공간으로 작용되는 배면토압을 자립식 토괴의 자중(W)에 의하여 지지하도록 한 새로운 개념이므로 종래의 시트파일에 비하여 시공이 경제적이고, 상·하부 고정구에 의하여 강성이 증대되어 구조적으로 안정될 뿐만 아니라 시트패널의 회수가 용이한 유용한 발명이다.

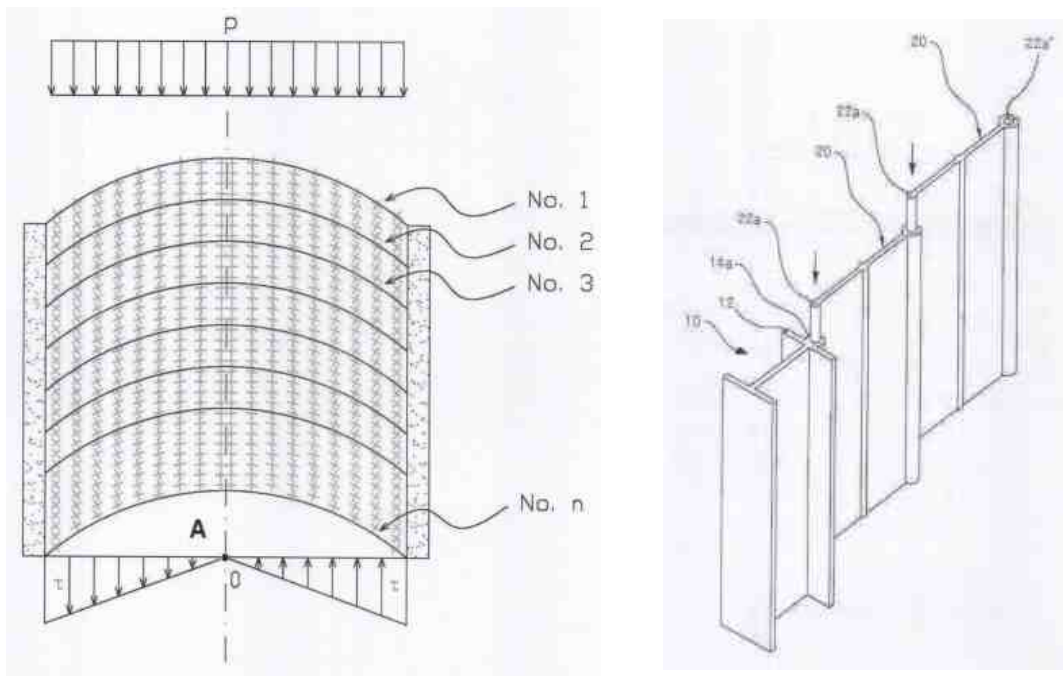


그림 2.10 아칭효과를 이용한 보강형 자립식 흙막이 구조체 및 이를 이용한 지중굴착 시공방법의 대표도

#### 2.4.4. 철재 토류판 설치구조 및 그 시공방법

본 발명은 지하 굴착 공사를 하고자 할 때 지중에 H형 파일을 삽입하고 상기 H형 파일 사이에 삽입 설치하는 토류판을 1단계 또는 1,2차 차단기능을 가진 2단계로 선택적인 배치를 할 수 있도록 한 수단에 의해 지반특성에 맞추어 토류판을 가변 설치할 수 있도록 함으로서 토압에 의한 변위발생을 방지하여 구조적 안정을 유지할 수 있도록 함과 아울러 차수기능을 효과적으로 수행할 수 있도록 한 철재 토류판 설치구조 및 그 시공방법에 관한 것이다.

즉, 본 발명은 H형 파일의 길이방향으로 내부 양측에 일정 간격을 두고 결착부재에 의해 1, 2차 삼지결합부를 형성하는 단계와 상기 1, 2차 삼지결합부가 형성된 H형 파일을 지중에 삽입하여 설치하는 단계, 상기 지중에 설치된 H형 파일 사이의 1, 2차 삼지결합부에 적어도 하나 이상의 철재 토류판을 선택적으로 삽입하여 차단기능을 갖도록 한 토류판 설치단계, 상기 토류판이 설치된 다음 지면 아래로 일정 깊이로 굴착이 이루어지는 굴착단계로 이루어진 철재 토류판 시공방법과, 지중에 삽입하여 설치하되 길이방향으로 내부 양측에 일정 간격을 두고 결착부재에 의해 1, 2차 삼지결합부가 형성된 H형 파일과, 상기 지중에 설치된 H형 파일 사이에서 1, 2차 삼지결합부에 적어도 하나 이상의 철재 토류판을 선택적으로 삽입하여 지반특성에 따른 차단기능을 갖도록 한 철재 토류판 설치구조를 특징으로 한다.

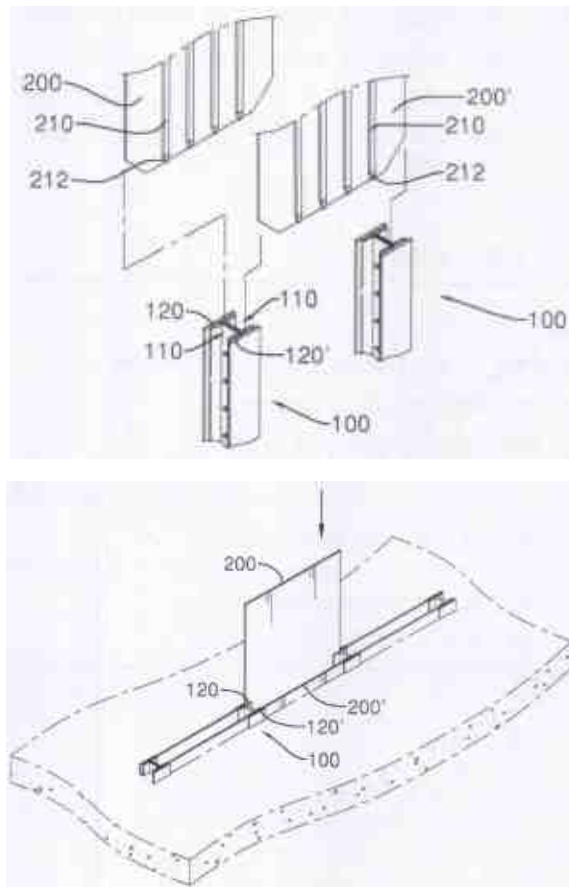


그림 2.11 철재 토류판 설치구조 및 그 시공방법

## 2.5. 기존 공법들의 문제점

앞 절에서 기존 흙막이 공법과 관련특허에 대해 조사하고 각각의 주요 특징을 정리하였다. 하지만, 각 공법들은 장점 외에도 문제점을 지니고 있다. 이 절에서는 각각의 공법들의 문제점을 되짚어 보고자 한다.

### 1) Sheet-Pile 공법의 문제점

- ① 시공 Pile 본수가 많아 공기 및 공사비 증가
- ② 근입장부 암천공시 공기 및 공사비 증가
- ③ 맞물림 인발, 맞물림 삽입 발생
- ④ 호박돌출 미삽입부 띠장용접으로 재항다, 삽입 불가
- ⑤ 지층이 암반 및 호박돌, 전석층인 경우에는 매우 고가
- ⑥ 엇물림 불량 시에 누수발생 우려

### 2) RSW 공법의 문제점

- ① 강판 1면 지지이므로 굴착 후 토압으로 인한 벽체의 배부름 현상 발생
- ② 코너부 H-Pile의 별도 제작으로 인한 시공 효율성 저하와 공사비 증가
- ③ 시공의 정밀도를 요함

### 3) RPRW 공법의 문제점

- ① 강판 지지이므로 굴착 후 토압으로 인한 벽체의 배부름 현상 발생
- ② 강판의 1개소 폭 방향으로 보면 강성이 크지만, 길이 방향으로 고려하였을 경우는 강성이 0에 가까움. 따라서 토압 지지력이 0에 가까우므로 굴착면 전체가 굴착면쪽으로 밀려들어오는 현상 발생
- ③ 억지말뚝 삽입과 간격재 설치로 인한 공기와 공사비 증가, 시공 효율성 저하
- ④ 거동특성에 대한 해석이 다소 난해
- ⑤ 시공의 정밀도를 요함

### 4) 관련특허의 문제점

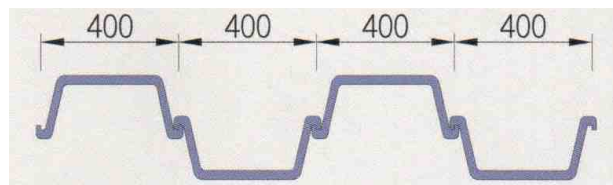
- ① 시험시공 부재로 인한 안정성 검증 및 실용화 검증 필요
- ② 아치형 강판만을 사용하여 굴착 시 장비의 시공 효율성 저하
- ③ 부재 제작의 난해성으로 인한 공사비 및 제작 소요시간 증가

### 3. 아치형 벽체 공법

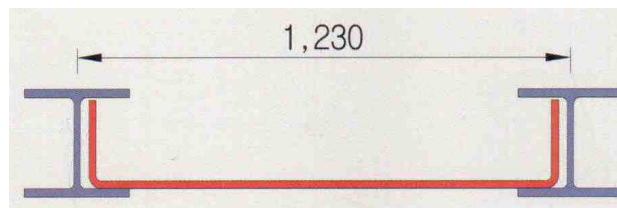
#### 3.1. 개요

기존의 소형 규모의 흙막이 공법은 H-Pile 사이의 간격을 좁게 하여 벽체가 토압에 저항하는 개념으로 설계되고 있지만, 본 아치형 벽체 공법은 지반에 H-Pile을 삽입 후 아치형의 벽체 형상을 가진 판넬을 삽입하여, 벽체의 강성을 대폭 증대시켰다. 따라서 기존의 흙막이 공법에서 공사에 막대한 지장을 초래하였던 H-Pile의 폭을 대폭 늘릴 수 있도록 하여 공사비의 절감, 공기단축 및 시공성 증대 등의 효과를 기대할 수 있도록 하였다.

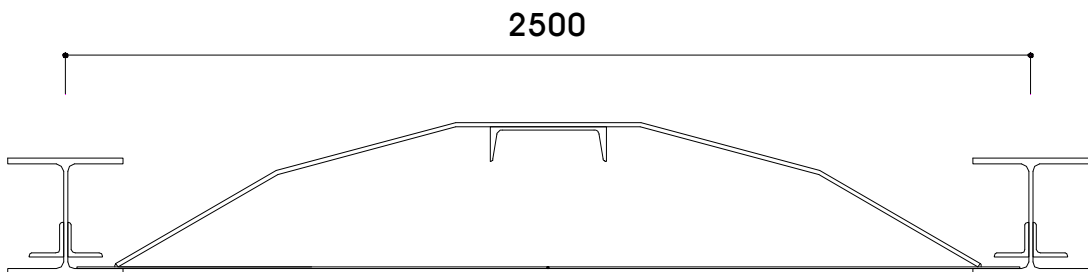
아치형 벽체 공법의 기본 원리는 다음과 같다. 기존 공법에서는 그림 3.1의 (a), (b)와 같이 1.4m미만의 벽체 폭으로 벽체를 설치하여 H-Pile과 벽체 모두 토압의 영향을 받으므로 버팀보의 설치가 절대적으로 필요하였다. 그러나 아치형 벽체 공법에서는 그림 3.1의 (c)와 같이 H-Pile과 H-Pile 사이에 아치형 판넬 벽체를 설치하여 기존 재래식 공법의 2배 이상의 토압 지지력을 발휘할 수 있게 됨으로써, 벽체의 폭을 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 H-Pile이 받는 토압의 크기도 줄어들어 전체적으로 안정된 구조체를 형성할 수 있게 된다.



(a) Sheet-Pile 공법 평면도

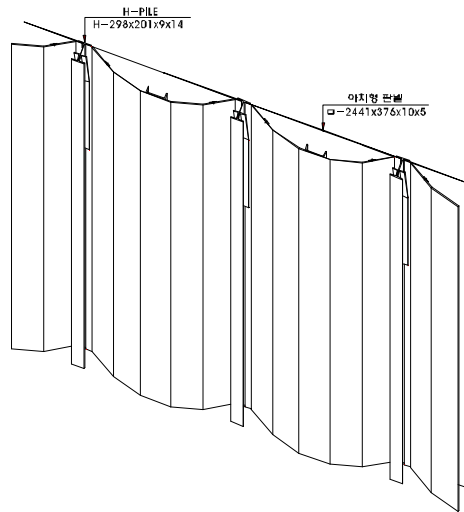


(b) RWS 공법 평면도



### 3.2. 아치형 벽체 공법의 구성

본 발명은 중소규모 현장에 적합한 아치형 자립식 벽체 가설 흙막이 구조물 및 그 설치방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 지반에 H-Pile을 일정간격으로 삽입 후 아치형 강판 판넬에 평면 판넬을 부착시킨 벽체를 삽입하여, 굴착공간으로 작용하는 배면토압을 아치형 판넬로 지지하고, 평면 판넬은 아치형 판넬의 지점 역할을 하여 변형 및 휨 방지를 유도하며, 거푸집으로도 사용가능한 새로운 개념의 가설 흙막이 구조물 및 그 설치방법이다. 그림 3.2와 그림 3.3은 제안 기술의 개념도이다.

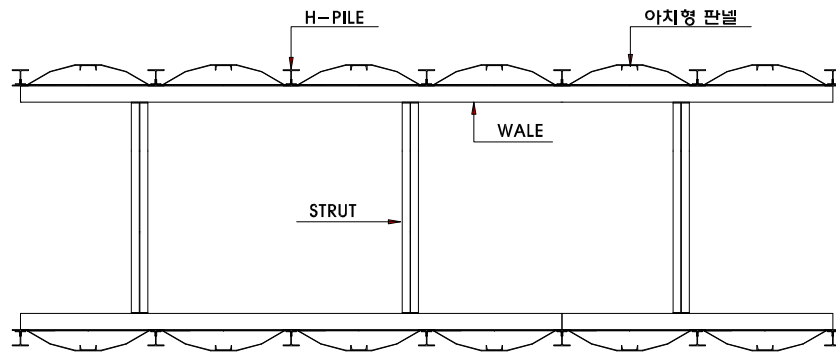


기존 소규모 현장의 흙막이 공법은 대부분 Sheet Pile 공법으로 시공되어지고 있으나 이 공법은 항타 작업이 많아 소음, 진동이 크고, 공사기간이 증대되며, 투입 강재량이 많아서 공사비 증가요인이 된다. 또 다른 공법으로는 좁은 H-Pile 사이에 벽체를 끼워 넣어 벽체의 토압을 H-Pile로 전달하여 토압에 저항하는 개념으로 설계되고 있지만, 이 공법도 벽체 강성이 약하여 변위 발생이 크기때문에 안전성에 문제가 있고 지반 침하 및 차수 문제 등 많은 문제가 있다.

본 연구과제인 중소규모 자립식 흙막이 공법은 벽체의 강성이 대폭 증대되어 자립깊이가 증가될 뿐만 아니라, 기존의 흙막이 공법보다 H-Pile의 폭을 2배 이상 대폭 늘릴 수 있도록 함으로써 공사비의 절감, 공기단축 및 시공성 증대 등의 효과를 창출함에 목적이 있다.

중소규모 자립식 흙막이 구조물의 설치방법은 굴착라인을 따라 가이드빔 설치 후 H-Pile 삽입단계; 지중에 삽입된 H-Pile 사이에 아치형 강판 판넬을 삽입하여 설치하는 단계; 일정 깊이까지 굴착하는 단계; 상부 지지 및 안전을 위한 띠장 및 버팀보 설치 단계; 굴착심도까지 굴착하는 단계; 장비를 사용한 해체 단계를 포함하여 수행된다.

아치형 벽체 공법은 주부재인 H-Pile과 아치형 판넬, 코너부를 연결하는 절곡판넬로 구성되며, 굴착 후 안전한 상단 지지를 위해 띠장과 코너스트럿이 설치된다. 관로형태의 선형 굴착 현장에서 아치형 벽체 공법을 적용할 경우 그림 3.4와 같이 나타낼 수 있다. 폐합형 현장일 경우에서 그림 3.5이나 그림 3.6와 같이 적용할 수 있다. 그림 3.5은 코너부에 아치형 절곡 판넬 벽체를 사용하여 토압을 효과적으로 지지한 경우이며, 그림 3.6는 코너부에 ㄱ자형 절곡 판넬 벽체를 사용하여 거푸집으로도 활용하는 경우이다. 그림 3.7는 굴착깊이가 G.L(-)2.0m 정도일 경우 아치형 벽체만으로도 지지하는 경우의 단면도이다. 그림 3.8과 같이 굴착깊이가 G.L(-)4.0m가 되면 상단에 코너스트럿을 설치하여 토압을 지지하게 된다.



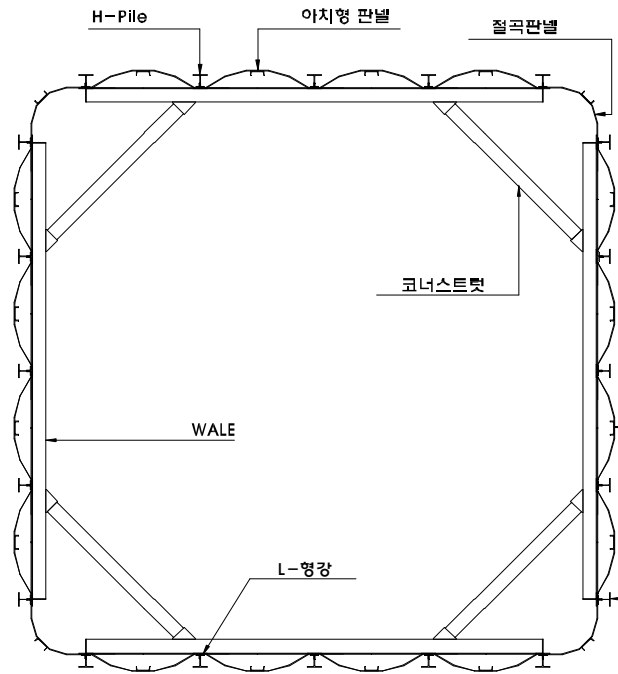
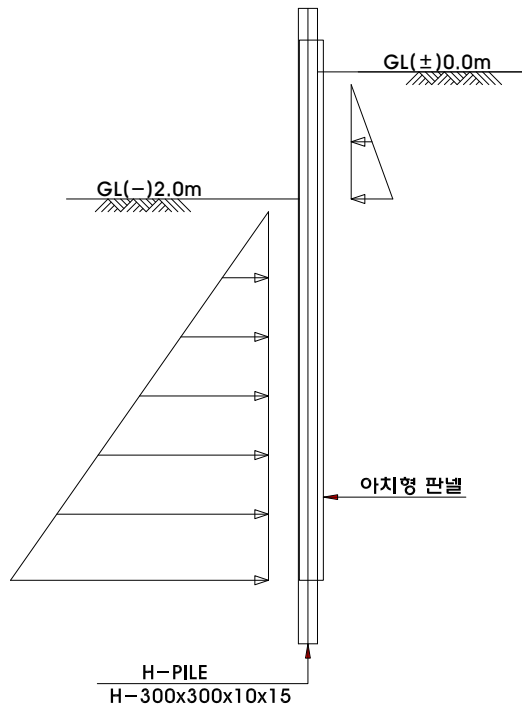


그림 2-2-2 ~2-2-4 중 일부를 참조하여 사용된 경우, 해당 그림 번호를 기재함



### 3.3. 시공 순서

아치형 벽체 공법의 시공 순서는 아래와 같다. 시공에 필요한 부재들을 공장에서 제작 후 현장으로 운반하면 아래와 같은 공정으로 시공되어 진다.

(a) 측량 및 부지 평탄화

굴착 작업을 할 위치를 측량을 통해 선정한다. 토질이 점토질일 경우 바로 시공이 가능하나, 전석층이나 자갈층일 경우 굴착 작업을 통해 터파기를 하여 시공 가능한 토질층을 확보한 후 부지를 평탄화 하도록 한다.

(b) 띠장 설치

부지 정리 및 평탄화 작업 후 띠장과 코너스트럿을 설치한다.

(c) H-Pile 삽입

앵글 가이드를 띠장에 고정 시킨 후 H-Pile을 수직도를 맞추어 삽입하도록 한다.

(d) 아치형 판넬 삽입

H-Pile 삽입 후 아치형 판넬을 H-Pile 사이에 끼어 삽입하도록 한다. 아치형 판넬을 삽입하면서 H-Pile이 회전하거나 벌어지지 않도록 주의하도록 한다.

(e) 체인보걸이 설치

띠장의 스티프너와 H-Pile을 체인으로 연결하여 보걸이를 형성한다.

(f) 굴착

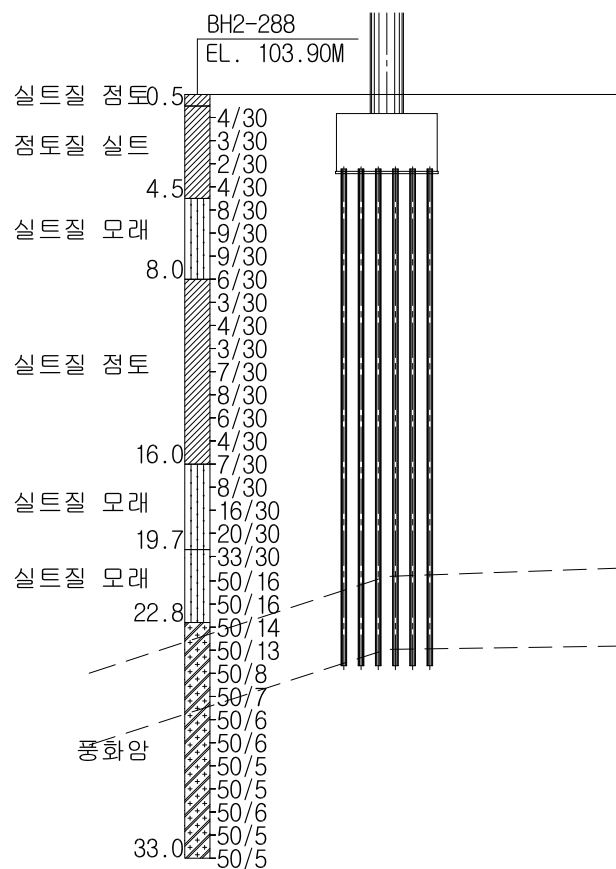
띠장과 버팀보를 주의하여 굴착한다.

#### 4. 아치형 벽체 공법 설계

아치형 판넬 벽체를 사용하여 토압을 지지하는 아치형 벽체 공법의 설계 절차는 다음과 같다. 지반조사 내용을 근거로 하여 굴착지반의 설계토압이 산정되면 아치형 판넬과 H-Pile을 적절하게 배치한 후 버팀보의 단면과 위치를 결정한다. 결정된 단면과 강종을 근거로 아치형 판넬 단면력을 검토하고 버팀보 설계로 최종 설계를 완성한다.

##### 4.1. 토압 계산

본 조사 지역은 논산 호남고속철도 구간의 연약지반으로써 시추 조사결과 지층의 구성은 실트층, 점토층, 모래층, 풍화토층, 풍화암층으로 분포한다. 토압계산을 위해 교각기초 최종 굴착 깊이 E.L(-) 4.0m까지 굴착하였으며 점토질 실트 및 실트질 모래층으로 구성되어 있으나, 실트층의 분포가 대부분을 차지하므로 N치가 작고 매우 불량한 지반이다. 이들 지층에 대한 주상도를 그림 4.1에 나타내었다.



#### 4.1.1. EXCAV 프로그램 해석 순서

EXCAV 프로그램을 사용하여 아치형 벽체 공법의 안정성을 검토하였다. 설계 순서는 그림 4.2와 같으며, 최대 토압이 작용하는 4.0m 굴착 시의 조건으로 해석하고 결과 값을 검토하였다. 지반해석 프로그램에 의한 구조해석 결과는 그림 4.2에 정리하였다.

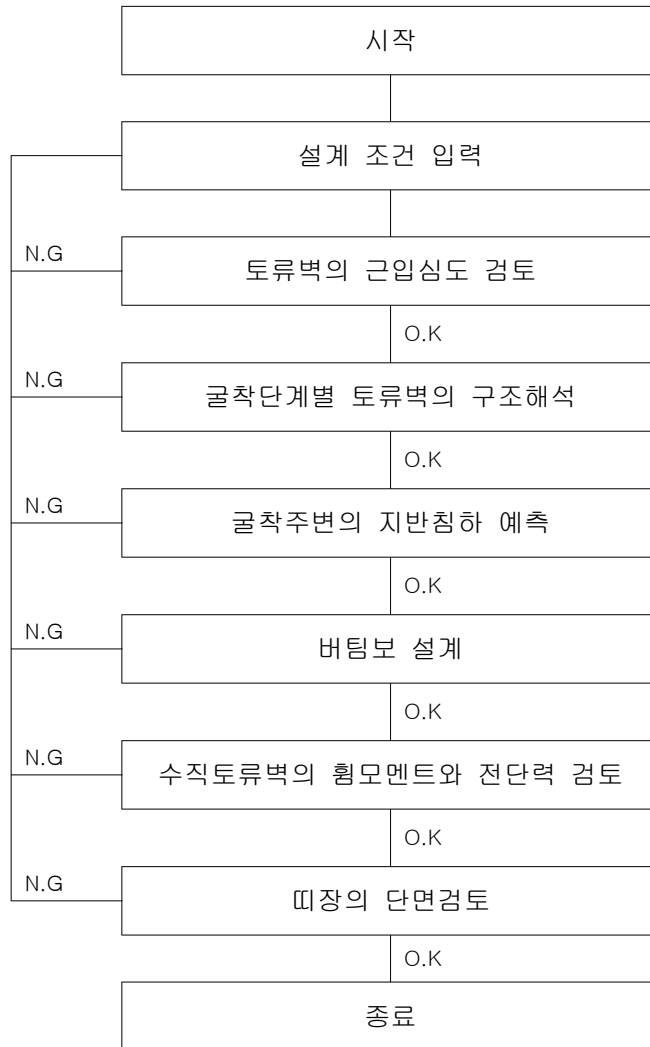


그림 4.2 EXCAV 프로그램 해석 설계순서

#### 4.1.2. EXCAV INPUT

아치형 벽체 공법 벽체 설계를 위해서는 최대토압이 결정이 되어야하는데, 본 현장에서는 EXCAV 프로그램을 사용하여 굴착 단계에 따른 토압 및 벽체에 발생하는 축력을 구하였다. 표 4.1은 토압 산정을 위한 Input Data이다. 지질 조건은 벽체가 삽입되는 깊이까지 점토질 실트 및 실트질 모래층으로서 N치는 2~4로 분포하나 아치형 벽체의 최적단면검토를 위해서 N치는 1로 적용하였다.

표 4.1 토압 산정을 위한 Input Data

| 구 분 |         | Input 값                  |
|-----|---------|--------------------------|
| 지반  | 토질      | 점토                       |
|     | 단위중량    | 1.74 tf/m <sup>3</sup>   |
|     | N치      | 1                        |
|     | 점착력     | 2.00 tf/m <sup>2</sup>   |
|     | 지반반력 계수 | 300.00 tf/m <sup>3</sup> |
|     | 상재하중    | 1.20 tf/m <sup>2</sup>   |
|     | 지하수위    | E.L (-)1.00 ~(-)4.50     |
| 부재  | 아치형 판넬  | △-2443×378×10×5          |
|     | 버팀보     | H-300×300×10×15          |
| 굴착  | 굴착 깊이   | E.L (-)4.00 m            |

1. 프로그램 조건

I-1. 지반 자료

1) 각 토층의 물리특성

| 토층 번호 | 상단 E.L(m) | 하단 E.L(m) | 단위중량 (t/m <sup>3</sup> ) | N | 점착력 (t/m <sup>2</sup> ) | 내단 저항력(DC) | 토질명  | 지반 반력계수 (t/m <sup>3</sup> ) | 마찰 저항 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-------|-----------|-----------|--------------------------|---|-------------------------|------------|------|-----------------------------|------------------------------|
| 1     | 0.000     | -10.000   | 1.74                     | 1 | 2.00                    | 0.00       | CLAY | 300                         | 0.00                         |

2) 각 토층의 물리계수

| 토층 번호 | 상단 E.L(m) | 하단 E.L(m) | RANKINE식 |       | COULOMB식 |       | CAQUOTSKERBEL |       | 중지토압  |
|-------|-----------|-----------|----------|-------|----------|-------|---------------|-------|-------|
|       |           |           | Ka       | Kp    | Ka       | Kp    | Ka            | Kp    |       |
| 1     | 0.000     | -10.000   | 1.000    | 1.000 | 1.000    | 1.000 | 1.000         | 1.000 | 1.000 |

I-2. 상재하중

| ID | X-NEAR(m) | X-FAR (m) | E.L. (m) | LOAD (t/m <sup>2</sup> ) |
|----|-----------|-----------|----------|--------------------------|
| 1  | 0.000     | 10.000    | 0.000    | 1.200                    |

I-3. 지하수위(토층별 연립할 계산시 사용)

- 지하수위 고려하는 시점 E.L. = -1.500 (m)
- 지하수위 고려하는 물층 E.L. = -4.500 (m)
- 지하수위 수위값의 물층 E.L. = -9.000 (m)
- 물의 단위중량 = 1.000 (t/m<sup>3</sup>)

I-4. 최종 굴착면의 위치와 굴착면검토 위치

- 최종 굴착면의 E.L. = -4.000 (m)
- 연립할 검토회수는 8.000 (m)
- 중지토압의 수 = 2

I-5. 연립할벽(H-PILE, SLURRY WALL등의 수직토층벽)의 지형

1) 사용 연립할벽(H-PILE, SLURRY WALL등)의 규격 : △-2443×378×10×5

- 단면적(A) = 2100000. (kgf/cm<sup>2</sup>)
- 단면적(A) = 302.1 (cm<sup>2</sup>)
- 단면 2차 모멘트(Ix) = 74440.2 (cm<sup>4</sup>)
- 단면 2차 모멘트(Iy) = 3008.3 (cm<sup>4</sup>)
- 단면 2차 모멘트 합(Rx) = 14.300 (cm)
- 단면 2차 모멘트 합(Ry) = 54.000 (cm)
- 연립할벽에 작용하는 축하중(N) = 0.500 (tf)
- 연립할벽의 단면적 = 2.50 (m)

I-6. 버팀보(E/A, Tied Rod, Nail & Stud)의 Value의 Type

△-S T R U T T Y P E

| ID | TYPE            | 단면적(A) (cm <sup>2</sup> ) | 단면 2차 모멘트 (cm <sup>4</sup> ) |        | 단면 계수 Zx (cm <sup>3</sup> ) |
|----|-----------------|---------------------------|------------------------------|--------|-----------------------------|
|    |                 |                           | Rx                           | Ry     |                             |
| 1  | H-300X300X10X15 | 2100000                   | 119.800                      | 13.100 | 7.510                       |

△-W A L L E T Y P E

| ID | TYPE            | 단면적(A) (cm <sup>2</sup> ) | 단면 2차 모멘트 (cm <sup>4</sup> ) |       | 단면 계수 Zx (cm <sup>3</sup> ) |
|----|-----------------|---------------------------|------------------------------|-------|-----------------------------|
|    |                 |                           | Rx                           | Ry    |                             |
| 1  | H-300X300X10X15 | 119.800                   | 13.100                       | 7.510 | 1380.00                     |

그림 4.3 EXCAV Input Data

#### 4.1.3. 토압 산정 결과

그림 4.4는 굴착 단계별 EXCAV 프로그램 해석 Output 그래프이며 표 4.2는 EXCAV 프로그램을 사용하여 계산된 Output Data를 정리한 것이다. 각 굴착 단계별 벽체에 작용하는 토압의 변화가 기록되어 있는데 이 중 가장 큰 값을 설계에 반영하여야 한다.

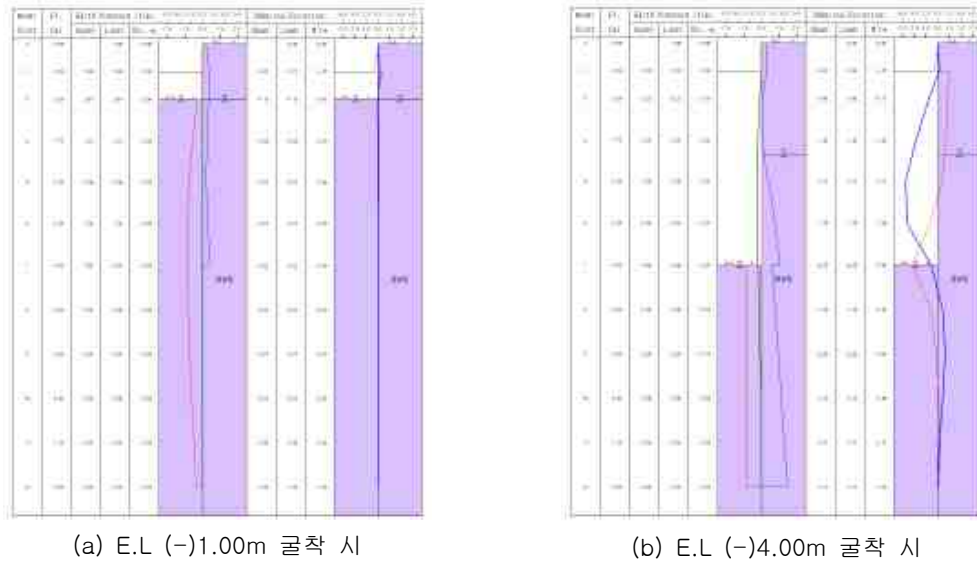


그림 4.4 굴착 단계별 EXCAV 프로그램 해석 Output 그래프

표 4.2 지반해석 프로그램에 의한 구조해석 결과정리

| 항 목                            | 해석결과 값 | 허용 값     | 판 정 |
|--------------------------------|--------|----------|-----|
| 근입장검토                          | 1.21   | 1.20     | O.K |
| 히빙검토                           | 2.03   | 1.20     | O.K |
| 변위량<br>(mm)                    | 2.21   | 1/500 이내 | O.K |
| 침하량<br>(mm)                    | 0.31   | 1/300 이내 | O.K |
| 최대 토압<br>(tf/m)                | 5.16   | -        | -   |
| 벽체(아치형판넬)<br>최대 휨모멘트<br>(tf·m) | 2.47   | -        | -   |
| 벽체(아치형판넬)<br>최대 전단력<br>(tf/m)  | 3.95   | -        | -   |
| 버팀대 반력<br>(tf)                 | 2.76   | -        | -   |

## 4.2. 단면 설계

현장 지반조건을 토대로 EXCAV 프로그램을 이용하여 표 4.2와 같이 토압을 산정한 결과를 토대로 아치형 벽체 공법의 강종을 결정한다.

단순 지지된 구조물에서 지간의 길이가 길어질수록 그 구조물이 받게 되는 휨모멘트도 급격하게 증가한다. 토압과 같은 등분포하중을 받는 경우에, 휨모멘트는 지간길이의 제곱에 비례한다. 지간이 긴 구조물에서 경제적인 설계를 위하여 휨모멘트를 감소시킬 필요성은 절실한 것이다. 휨모멘트를 감소시키는 방법으로는 게르버보(Gerber beam)와 같은 캔틸레버 구조로 만드는 것, 연속보의 사용, 그리고 아치(Arch)의 채택 등이 있을 수 있다.

따라서, 토압을 받는 벽체의 경우 지간(H-Pile 간격)을 넓혀 휨모멘트를 감소시키기 위해서는 아치 구조를 채택하는 것이 매우 유리하다.

아치는 수직으로 작용한 외력 때문에 양단의 지점에서 중앙으로 향하는 수평반력을 발생시킨다. 이 수평반력은 각 단면에서의 휨모멘트를 감소시키며, 부재 단면은 주로 축방향 압축력을 지지하게 된다. 양단의 지점에서 수평반력을 유발하기 때문에 본 연구 과제의 흙막이 가설 벽체는 그림 4.5와 같이 아치형 판넬 앞에 평판을 용접하여 수평 반력을 제어 할 수 있다. 평판은 아치 판넬의 하중을 인장으로 견딜 수 있도록 설계하여야 한다.

표 4.3은 아치형 벽체 공법에 사용된 아치형 판넬과 H-Pile의 강종 및 물성치를 정리한 것이다. 아치형 판넬은 길이가 8438mm, 폭이 2443mm, 높이가 378mm이고 단면2차모멘트(Ix) 값이  $74,440\text{cm}^4$ 으로써 H-Pile 298×201×9×14의 단면2차모멘트(Ix) 값  $13,300\text{cm}^4$  보다 약 5.6배 크게 설계되어 벽체의 강성만으로도 자립할 수 있도록 하였다.

아치형 판넬의 절곡은 아치교에서 가장 많이 적용되는 안정적 라이즈비인 1/6과 부재 제작 시 아치부 절곡의 용이성과 편의를 위한 15°, 30°의 각도를 선정하였다.

표 4.3 아치형 벽체 공법의 사용부재 물성치

| 부 재       | 단 면             | 길 이<br>(mm) | 폭<br>(mm) | 높 이<br>(mm) | 단면<br>2차모멘트<br>( $\text{cm}^4$ ) |
|-----------|-----------------|-------------|-----------|-------------|----------------------------------|
| H-Pile    | H-298×201×9×14  | 10,000      | 300       | 300         | 13,300<br>(100 %)                |
|           | H-300×300×10×15 | 10,000      | 300       | 300         | 20,400<br>(153 %)                |
| 아치형<br>판넬 | △-2443×377×10×5 | 8,438       | 2,443     | 378         | 74,440<br>(559 %)                |

#### 4.2.1. 아치형 판넬

그림 4.5는 아치형 판넬의 단면치수이다. 다음의 단면과 같이 설계하여 검토하였다.

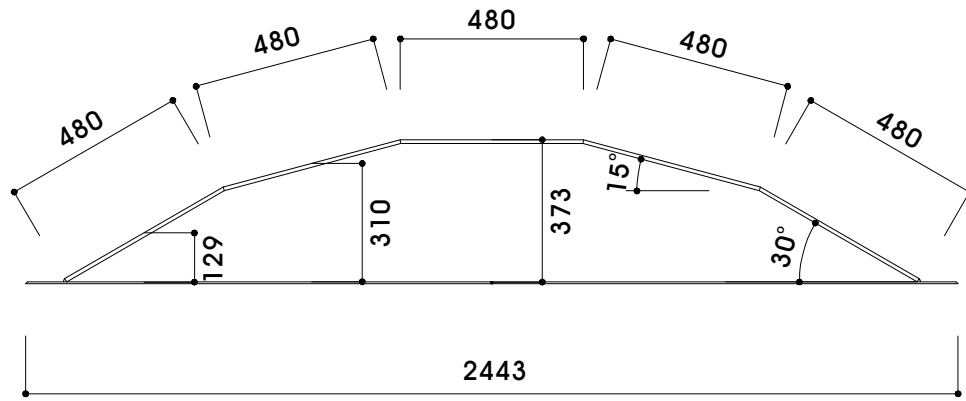


그림 4.5 아치형 판넬

#### 1) 아치형 판넬 전체 단면2차모멘트 계산

상부판넬: 길이(L)= 2400mm, 두께(t)=10mm

하부<sup>37</sup>판넬: 길이(L)= 2443mm, 두께(t)= 5mm

(1) 휨검토

$$M = 2.47 \times 2.5 = 6.175 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$f_b = \frac{My}{I} = \frac{12741928.8}{74440.2} = 171 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots O.K$$

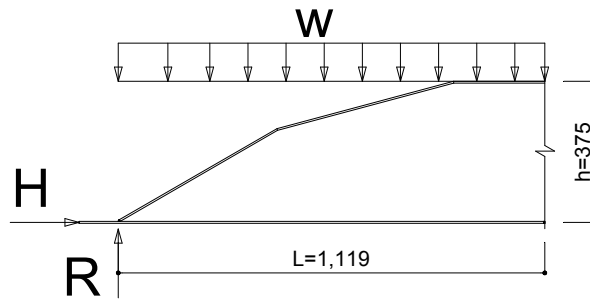
3) 아치형 판넬 검토 - 부분

적용토압: 5.16t/m , 적용강재:SS400

높이 : 375mm , 경사각: 30°

상부 L: 480mm , t: 10mm , I: 4.0cm<sup>4</sup>

하부 L: 2443mm , t: 5mm , I: 2.5cm<sup>4</sup>



$$\begin{aligned} w &= 5.16 \text{ ton/m} \\ R &= w \times L = 5.77 \text{ ton} \\ M &= R \times L - H \times h - w \times L \times (L/2) = 5.77 \times 1,119 - H \times 0.375 - 5.16 \times 1,119 \times (1,119/2) \\ \therefore H &= 8.615 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x &= I_1 + I_2 = 4.0 + 2.5 = 6.5 \text{ cm}^4 \\ I_y &= I_1 + I_2 = 4.0 + 2.5 = 6.5 \text{ cm}^4 \\ I_z &= I_1 + I_2 = 4.0 + 2.5 = 6.5 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

(1) 상부판넬 검토

(a) 휨검토

$$f_{ba} = 1400 \times 1.5 \times 0.9 = 1890 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_1 = \frac{wl^2}{12} = \frac{1.189}{12} = 0.099 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_1 = \frac{wl^2}{24} = \frac{1.189}{24} = 0.05 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$f_{b1} = \frac{My}{I} = \frac{4953.6}{4.0} = 1238 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots O.K$$

$$f_{b2} = \frac{My}{I} = \frac{2476.8}{4.0} = 619.2 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots O.K$$

(b) 압축검토

$$f_{ca} = 1400 \times 1.5 \times 0.9 = 1890 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = t \times 1M = 100 \text{ cm}^2$$

$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{11,550}{100} = 115.5 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots O.K$$

(2) 하부판넬 검토

(a) 인장검토

$$f_{ca} = 1400 \times 1.5 \times 0.9 = 1890 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = t \times 1M = 50 \text{ cm}^2$$

$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{1,386}{50} = 27.72 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots O.K$$

## 4.2.2. 설계 결과

## 1) 근입 깊이 검토

| Mp (tf-m)<br>(수동토압 모멘트) | Ma (tf-m)<br>(주동토압 모멘트) | 근입 깊이 검토 |      | 검 토 |
|-------------------------|-------------------------|----------|------|-----|
|                         |                         | Mr/Md    | 허용   |     |
| 173.84                  | 143.62                  | 1.21     | 1.20 | O.K |

## 2) 히빙 검토

| Mr (tf-m) | Md (tf-m) | 히빙 검토 |      | 검 토 |
|-----------|-----------|-------|------|-----|
|           |           | Mr/Md | 허용   |     |
| 132.53    | 65.28     | 2.03  | 1.20 | O.K |

## 3) 아치형 판넬 검토

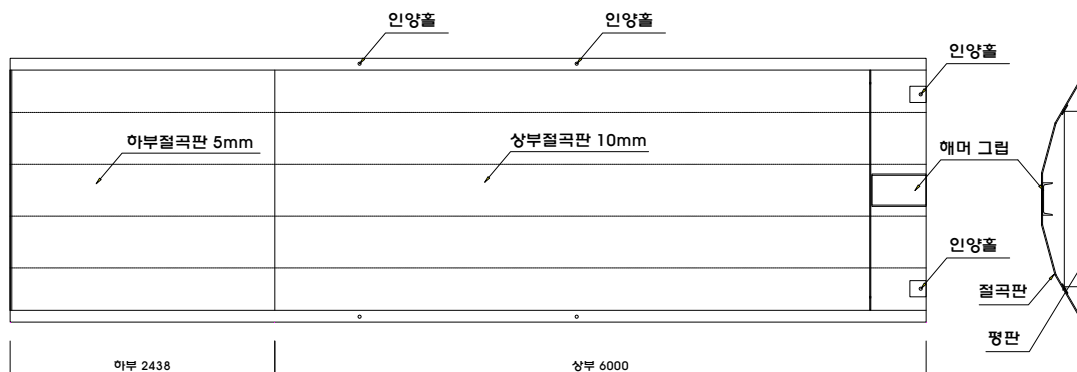
| 휨응력 검토 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |       | 압축응력 검토 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |        | 검 토 |
|-------------------------------|-------|--------------------------------|--------|-----|
| 휨 응 력                         | 허용휨응력 | 압축응력                           | 허용압축응력 |     |
| 0.1                           | 1.00  | 0.06                           | 1.00   | O.K |

### 4.2.3. 판넬 상세 설계

#### 1) 기본형

아치형 판넬은 굴착 전의 지반에 향타장비를 사용하여 일직선으로 근입함으로써 벽체를 형성하는 부재이므로, 향타 시 충격과 마찰을 저항할 수 있어야 한다. 또한 아치형 판넬 설치후 굴착 작업을 실시할 경우, 구조적으로도 안전해야 하며, 시공성 또한 고려할 사항이다.(그림 4.6)

- ① 평 판 : 아치형 판넬 설치 후 굴착을 용이하게 하고 본 구조물의 시공을 원활하게 하기 위해 안쪽의 부재는 평판으로 제작하였다. 또한 구조적으로 안전해야 하며, 적재 및 운반 시 문제가 발생하지 않는 부재를 사용하였다.
- ② 절 곡 판 : 절곡판의 경우 직접적으로 토압을 지지하는 부재로써, 구조적으로 토압을 지지하는데 적합하도록 아치형으로 제작하였다. 또한 내구성, 구조적 안전성을 고려하고, 적재 및 운반 시 문제가 발생하지 않는 부재를 사용하였다.
- ③ 보강 강판 : 향타시나 운반 시 절곡판과 평판이 휘거나 변형되는 것을 방지하기 위해 보강 강판을 안쪽에 추가 설치해 주었다. 이 보강 강판은 향타 시 평판과 절곡판을 일체화시켜 관입을 원활하게 해 주는 역할도 해준다.
- ④ 해머 그립 : 아치형 판넬은 바이브로 해머를 쓰게 되는데 해머가 부재를 유압으로 압착하고 진동을 가하므로 부재를 손상시킬 수 있다. 그래서 해머의 그립부에 C-형강을 보강하여 손상을 방지하고, 진동 시 한부분에 집중되는 힘을 분산시키는 역할을 해준다.
- ⑤ 인 양 홀 : 아치형 판넬을 향타, 인발, 운반 및 적재를 하기 위해서 인양을 해야 하므로 손상이 발생하지 않는 부분에 인양홀을 설치하였다.



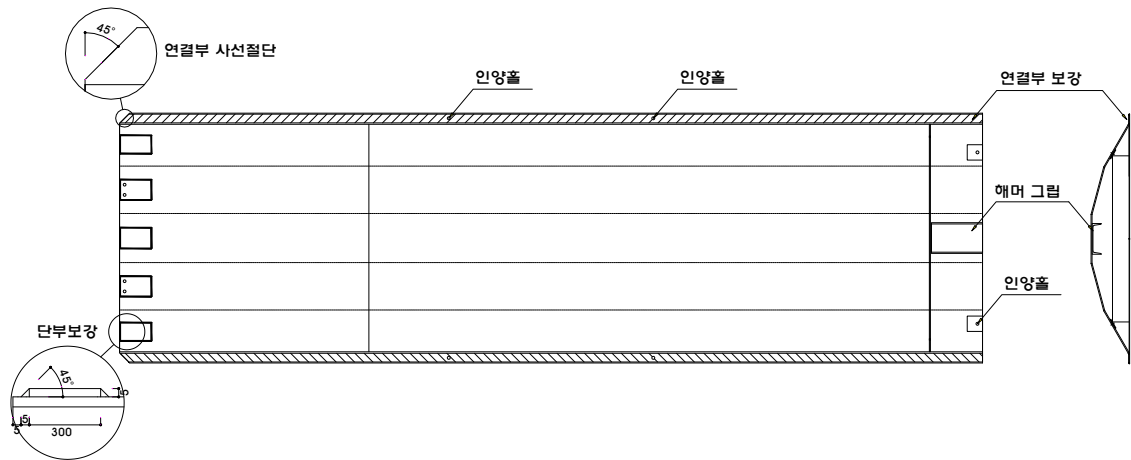
## 2) 보강형

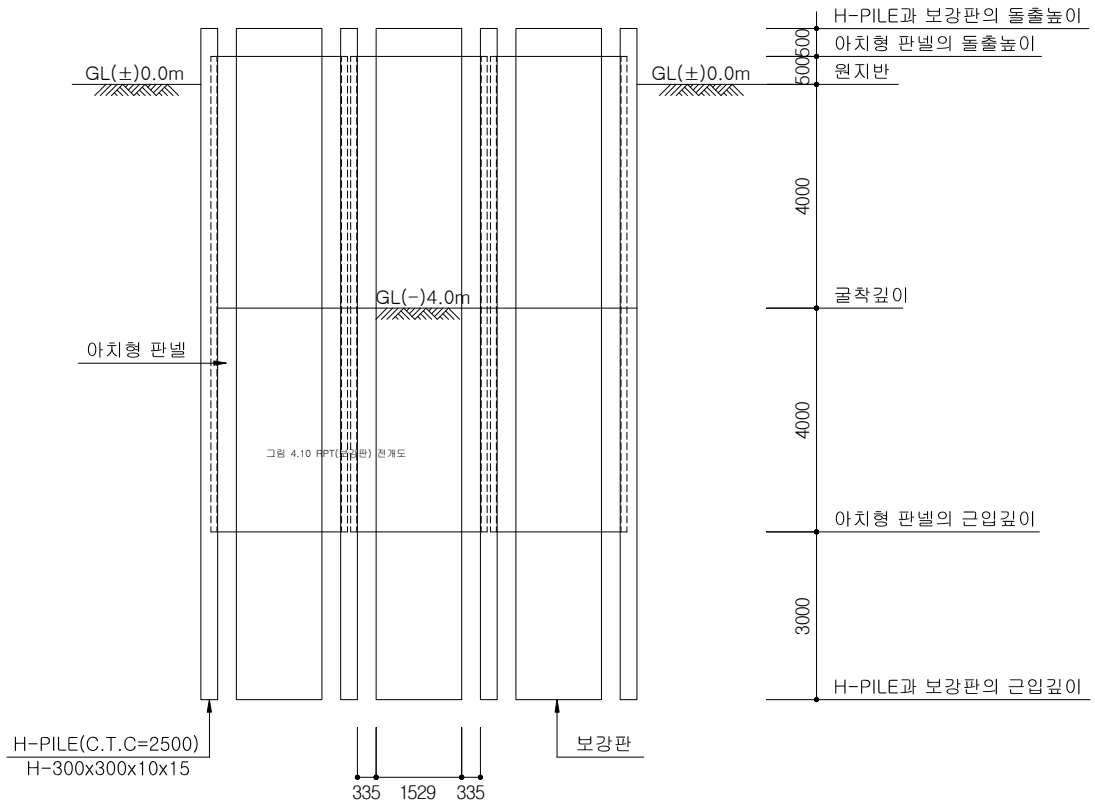
설계한 아치형 판넬에 대하여 성능 향상과 파손 최소화를 위하여 보강안을 검토, 기존 아치형 판넬(B)을 보강한 R1, R2, N, S의 4종의 보강 아치형 판넬을 추가 제작하였다. 보강 부재에는 공통적으로 연결부 45° 사선 절단과 단부에 5mm 강판을 부착하였다.(그림 4.7)

- ① R1 : 기본형 아치형 판넬 B에 시공과 관입 시 손상되기 쉬운 연결부( $t_j$ )를 보강하였다. 날개부의 단부 끝단은 손상을 방지하기 위하여 그림 4.9와 같이 사선 절단하였다.
- ② R2 : 연결부( $t_j$ )를 보강하고 추가로 그림 4.9와 같이 단부에 5mm 강판을 덧대어 손상을 방지하고 관입성능을 향상 시키고자 하였다.
- ③ N : 연결부( $t_j$ )와 하부평판( $t_p$ ), 아치부( $t_a$ )를 모두 두께 10mm로 보강하고 날개부 사선 절단과 단부에 5mm 강판을 부착하는 보강을 통하여 단일 부재로서 가장 큰 내하력과 자중을 가지고 있다.
- ④ S : 아치형 판넬의 근입 시 필요에 따라 추가 근입을 실시해야 되는 경우 세그먼트형 부재를 사용한다. 길이 4m로 기존 부재들과 결합이 가능하게 제작되었으며 내부에 너트용접을 통하여 결합할 수 있게 설계되었다.
- ⑤ RPT : 토질에 따라 흙막이 벽체의 필요 근입장보다 히빙 및 보일링을 방지하기 위하여 더 깊게 근입을 하는 경우가 있다. 보강판은 이러한 히빙 및 보일링을 방지하기 위해 아치형 판넬 근입장 보다 더 깊게 근입하도록 계획된 부재이다.

RPT 부재는 관입, 인발 시에 필요한 해머그립과 인양 홀 요소를 추가로 결합시켜 제작하였다.(그림 4.8) RPT의 시공방법은 그림 4.9와 같이 아치형 판넬 내부에 관입된다. RPT 부재를 연속으로 관입시켜주면 그림 4.10과 같이 되며, 히빙 및 보일링 방지뿐만 아니라 지반을 교란시켜 인발시 저항을 줄이는 효과와 자립을 위한 근입깊이를 증대시키는 효과가 있다. RPT 부재는 아치형 판넬 내부에 관입하기 때문에 H-Pile과 이격 거리가 생긴다. 이격거리의 영향을 통해 발생하는 히빙 및 보일링은 미세할 것으로 판단되며 차년도 시험시공을 통해 확인할 예정이다.

각 부재별 상세 제작도는 부록 A1에 첨부되어있다.

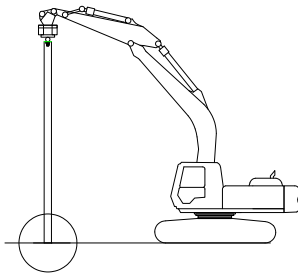




|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## 5. 시험 시공

당해연도의 시험시공은 부재의 단면설계의 결과를 확인하기 위해 요소부재의 관입성능 및 내하력 시험을 계획하였다. 관입성능실험은 개발 부재와 기존 공법의 경제성 비교를 하고자 함이고, 내하력 실험은 관입에 따른 단부손상과 굴착시 토압에 따른 벽체의 변형 및 자립성을 검토하려한다. 하지만 차년도 연구에 현장시험시공이 있는바 당해연도에는 관입시험을 통하여 관입성능과 관입에 따른 단부손상 파악을 목표로 진행한다.



(a) 단부 내하력  
및 관입성능 측정

(b) 이차원 벽체 내하력 및 관입성 측정  
그림 5.1 시험시공의 측정 방법

### 5.1. 시험 개요 및 계획

**5.1.1. 시험 개요**  
이차원 벽체 관입의 관입성 시험을 실시하여 이차원 벽체의 관입성능을 파악하고, 관입 직후 시 정지할 수 있는 공법들을 고찰하고자 한다. 또한 H-Pile 및 Sheet-Pile의 관입성능비교를 통하여 이차원 벽체 관입의 관입성능을 파악하고자 한다.

### 5.1.2. 시험 목적

- 1) 부재의 관입성능 평가(속도, 깊이, 관입조건, 손상여부)
- 2) 시공공간의 시간적특성 혹은 작업 효율성 검토
- 3) 관입시공에 따른 추가 관입장치를 위한 기초토질 조사
- 4) H-Pile 및 Sheet-Pile의 관입성능 비교를 통한 이차원 벽체 관입의 상대적 비교 평가

### 5.1.3. 실험 시공

이차원 벽체 관입 시험시공은 2012년 8월 20일부터 2012년 8월 22일까지 충남고속도로 제 2-유동구 제2연교 교차 부근에서 실시하였다. 시험시공을 위하여 표 5.1.3. 같이 일정 부품을 준비 제작하여 현장으로 운반하였다.

표 5.1 시험시공에 필요한 총 부재 및 수량

| 구 분                   |       | $t_a$<br>(mm) | $t_p$<br>(mm) | $t_l$<br>(mm) | A<br>( $\text{cm}^2$ ) | I<br>( $\text{cm}^4$ ) | L<br>(m) | W<br>(ton) | 비 고           |
|-----------------------|-------|---------------|---------------|---------------|------------------------|------------------------|----------|------------|---------------|
| 아<br>치<br>형<br>판<br>넬 | B     | 상10<br>하 5    | 5             | 5             | 362.2                  | 74,440                 | 8.4      | 2.2        | 기본 타입         |
|                       | R1    | 상10<br>하 5    | 5             | 10            | 370.7                  | 76,544                 | 8.4      | 2.2        | 보강1 타입        |
|                       | R2    | 상10<br>하 5    | 5             | 10            | 470.7                  | 76,544                 | 8.4      | 2.3        | 보강2 타입        |
|                       | N     | 10            | 10            | 10            | 484.3                  | 100,604                | 8.4      | 3.3        | 신형 타입         |
|                       | S     | 10            | 5             | 5             | 462.2                  | 76,544                 | 12       | 3.5        | 세그먼트(R2 + S)  |
|                       | RPT   | 10            |               |               | 166.9                  | 16,012                 | 12       | 1.8        | 보강판           |
| H-<br>Pile            | H298  | 14            |               |               | 83.7                   | 13,300                 | 10       | 0.7        | 298×201×9×14  |
|                       | H300  | 15            |               |               | 119.8                  | 20,400                 | 10       | 0.9        | 300×300×10×15 |
| Sheet<br>-Pile        | SP400 | 13            |               |               | 76.4                   | 22,600                 | 10       | 0.6        | 400×150×13    |
|                       | SP500 | 19.5          |               |               | 133.8                  | 63,000                 | 10       | 1          | 500×200×19.5  |
| 총 수량                  |       | 10            |               |               |                        |                        |          |            |               |

#### 5.1.4. 시공 계획

시험시공 이전에 부재 제작을 하여 현장으로 운반하였으며, 필요 장비들을 준비하였다. 실험 소요 시간과 세부 내용은 표 5.2와 같다.

##### 1) 지반 평탄화

장비를 이용하여 시험을 실시할 지반을 평탄화 한다.

##### 2) H-Pile 및 Sheet-Pile 관입

바이브로햄머를 이용하여 H-Pile 및 Sheet-Pile을 관입하도록 한다. H-Pile 및 Sheet-Pile 관입 시 수직도를 유지하며 관입되는 시간을 기록한다. 관입 시에 바이브로햄머의 진동에 의해 수직도가 맞지 않을 수 있으므로, 작업 관리자는 수평자 등을 사용하여 수직도를 지속적으로 확인한다.

##### 3) 아치형 판넬 삽입

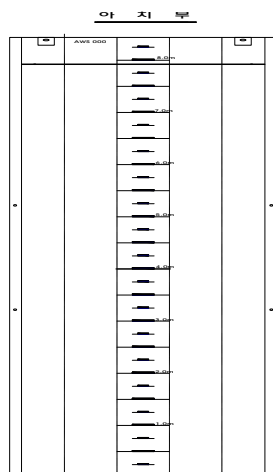
바이브로햄머를 이용하여 아치형 판넬을 관입하도록 한다. 관입 시에 수직도 여부 등을 확인하며 구간별 관입되는 시간을 기록한다. 수직도가 잘 유지되는지 지속적으로 확인한다.

표 5.2 실험 세부 내용 및 소요시간

| 구 분    | 실 험 내 용                                                                                                                | 소요시간<br>(hr) |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 시험 준비  | · 장비 점검 및 공구, 계측준비                                                                                                     | 2            |
| 관입 실험  | · H-Pile - Sheet-Pile - N - R2 - R1 - B - S<br>- RPT의 순서로 관입<br>· 부재당 25cm 간격으로 관입시간을 계측                               | 3            |
| 인발 실험  | · H-Pile - Sheet-Pile - N - R2 - R1 - B - S<br>-RPT의 순서로 인발<br>· 부재당 25cm 간격으로 관입시간을 계측<br>· 관입 후 인발까지 부재당 약 1시간의 대기시간 | 1            |
| 반복 작업  | · 관입-인발 실험을 2회 반복                                                                                                      | 8            |
| 실험 종료  | · 장비 및 공구 점검 및 현장 정리                                                                                                   | 1            |
| 총 소요시간 | 15hr                                                                                                                   |              |

### 5.1.5. 계측 계획

아치형 벽체의 기본형 판넬과 보강 및 신형 판넬의 관입 성능을 비교 분석하고, 안정성을 확인하기 위하여 대상토질에 대한 실 관입을 실시하고 관입시간을 측정하였다. 측정은 모든 판넬에 대하여 시간별 관입 깊이를 측정하였다. 관입깊이 확인의 용이성을 위해 그림 5.2와 같이 표척을 세워 경시줄로 판넬의 관입깊이를 체크한다.

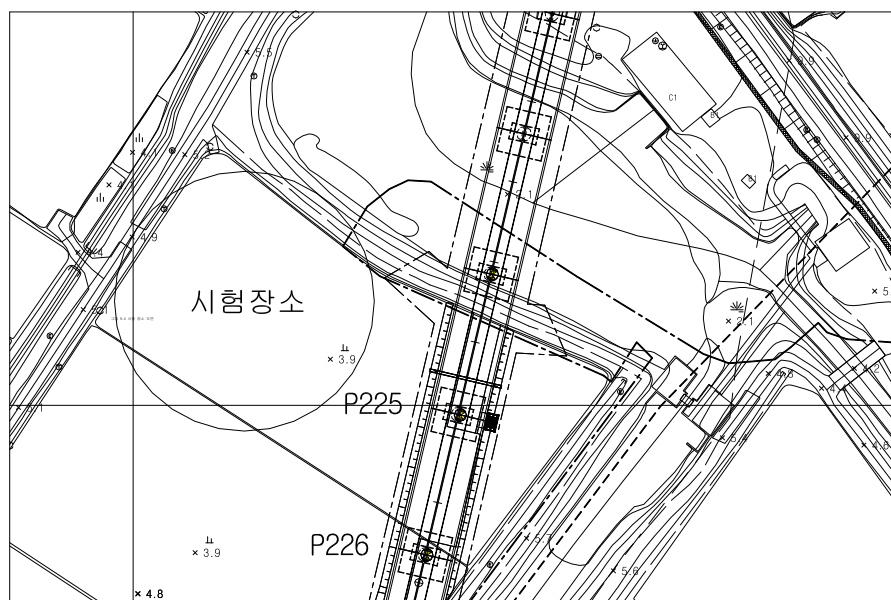


## 5.2. 현장 개요

본 시험시공 현장은 시추시험결과 N치 2~10인 연약한 지반으로 기존 공법인 Sheet-Pile 및 H-Pile과 아치형 벽체 공법의 관입성능 비교를 위해 충청남도 논산시에 위치한 호남고속철도 교각 P225 부근으로 선정하였다. 그림 5.3은 시험 장소 주변의 사진과 위치사진이며, 그림 5.4는 시험 장소를 도면화 한 것이다. 그림 5.5와 5.6은 시험 장소의 시추주상도이다.



그림 5.3 시험 장소 사진



# 시추주상도 DRILL LOG

2 매 중 1

|      |                          |      |                   |      |               |       |                                  |
|------|--------------------------|------|-------------------|------|---------------|-------|----------------------------------|
| 건명   | 호남고속철도 건설사업 제2공구 기본설계 용역 |      |                   | 시추공번 | BH2-288       | 교량명   |                                  |
| 발주처  | 한국철도시설공단                 | 위치   | 오기(현) 65 km 158.0 |      |               | 좌표    | X : 202,878.95<br>Y : 294,397.82 |
| 조사일  | 2007. 12. 01.            | 시추표고 | EL(+) 103.9 m     |      |               | 시추심도  | GL(-) 33.0 m                     |
| 시추방법 | 회전수세식                    | 지하수위 | GL(-) 1.2 m       |      |               | 케이싱심도 | GL(-) 21.0 m                     |
| 시추자  | 조현행                      | 작성자  | 박근영               | 시추장비 | Power 4000 SD | 시추공경  | NX                               |

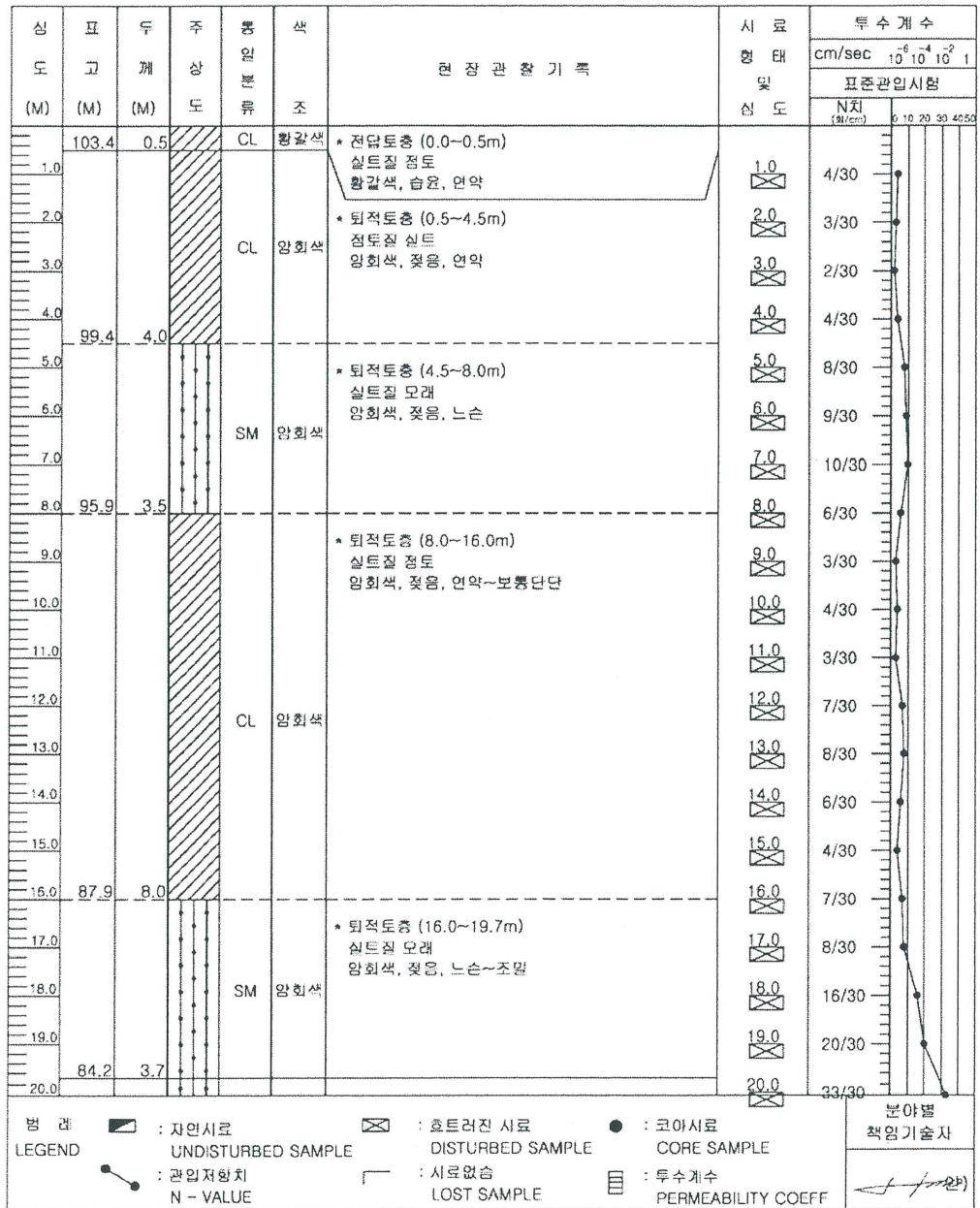


그림 5.5 시험 현장의 시추주상도(1)

# 시추주상도 DRILL LOG

2 매중 2

|      |                          |      |                   |      |               |       |                                  |
|------|--------------------------|------|-------------------|------|---------------|-------|----------------------------------|
| 건명   | 호남고속철도 건설사업 제2공구 기본설계 용역 |      |                   | 시추공번 | BH2-288       | 교량명   |                                  |
| 발주처  | 한국철도시설공단                 | 위치   | 오기(천) 65 km 158.0 |      |               | 좌표    | X : 202,878.95<br>Y : 294,397.82 |
| 조사일  | 2007. 12. 01.            | 시추표고 | EL(+) 103.9 m     |      |               | 시추심도  | GL(-) 33.0 m                     |
| 시추방법 | 회전수세식                    | 지하수위 | GL(-) 1.2 m       |      |               | 케이싱심도 | GL(-) 21.0 m                     |
| 시추자  | 조현행                      | 작성자  | 박근영               | 시추장비 | Power 4000 SD | 시추공경  | NX                               |

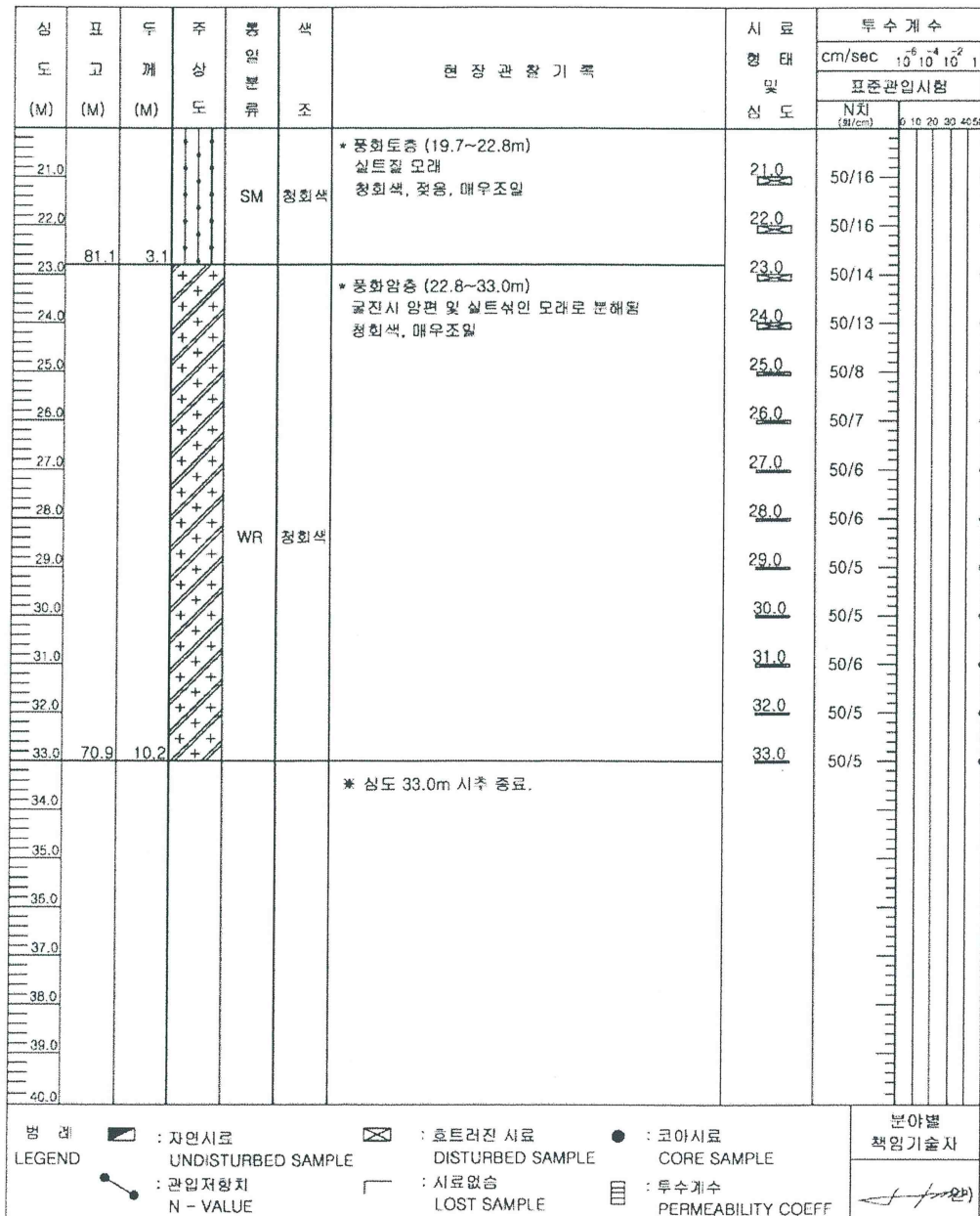


그림 5.6 시험 현장의 시추주상도(2)

### 5.3. 시험 시공 결과 및 분석

#### 5.3.1. Pile 및 RPT(보강판)의 관입 비교

아치형 판넬 관입 시험의 결과를 분석하기 위해 비교 시험으로 Pile 및 RPT(보강판)의 관입 시험을 실시하였다. 각 파일별로 3회를 실시하였고 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 관입깊이의 평균값을 그림 5.7과 같이 비교 그래프로 나타내었다. 관입깊이 700cm를 기준으로 파일군의 평균 시간(P avg)은 251초이며, 각 파일군의 평균 관입시간은 SP400(116초) - H300(188초) - H298(231초) - RPT(329초) - SP500(393초) 순으로 나타났다. 관입시간 평균값과 최소값은 135초의 차이를 보이며, 최대값과는 142초의 큰 차이를 보인다. SP400의 경우 단면적도 작고 두께도 가장 얇기 때문에 상대적으로 마찰이 적어 빨리 관입되는 것을 알 수 있었다. SP500의 경우는 반대로 단면적이 크고 두께가 두꺼워 관입 시간이 평균값 보다 크게 관측되었다.

그림 5.8은 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 관입깊이 비교 그래프이다. (a)는 1차 관입 그래프이며, 관입 700cm 기준으로 SP400(165초) - H300(222초) - H298(247초) - SP500(371초) - RPT(561초)의 순서로 관입되었다. (b)는 2차 관입 그래프이며, 관입 700cm 기준으로 SP400(165초) - H300(222초) - H298(247초) - SP500(371초) - RPT(561초)의 순서로 관입되었고, (c)는 3차 관입 그래프이며, 700cm 기준으로 SP400(78초) - H300(173초) - H298(235초) - RPT(180초) - SP500(406초)의 순서로 관입되었다. 각 그래프에서 비교를 위해 파일군 평균값(P avg)도 같이 나타내 주었다.

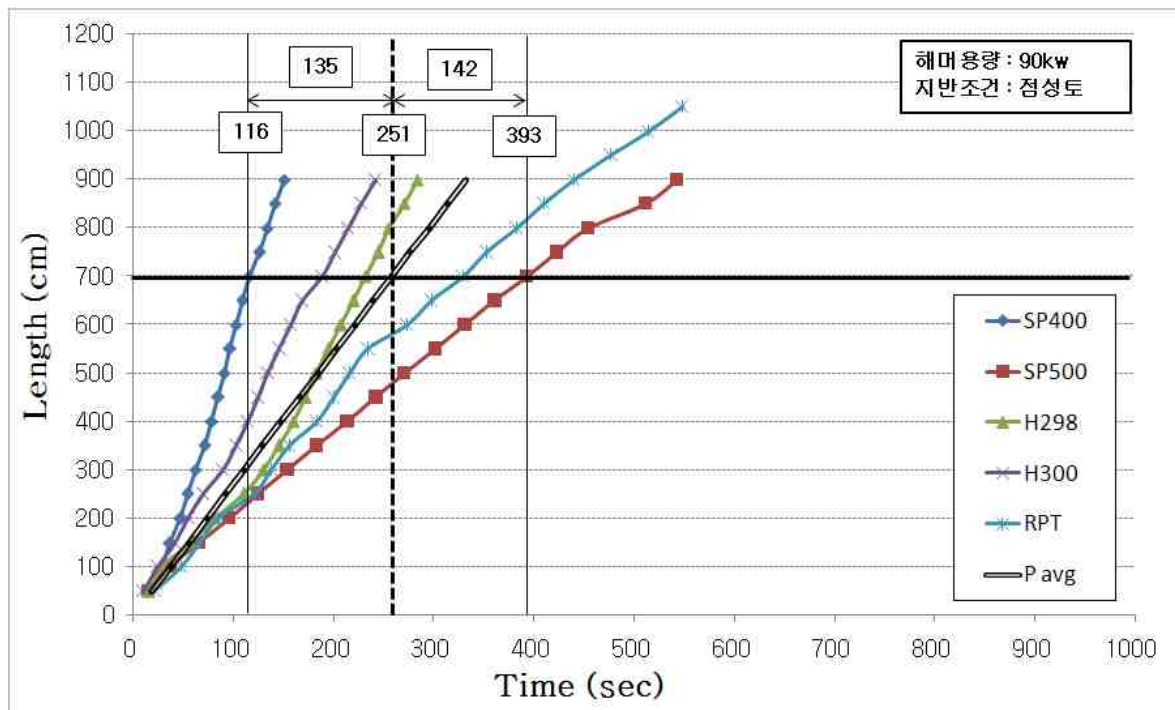
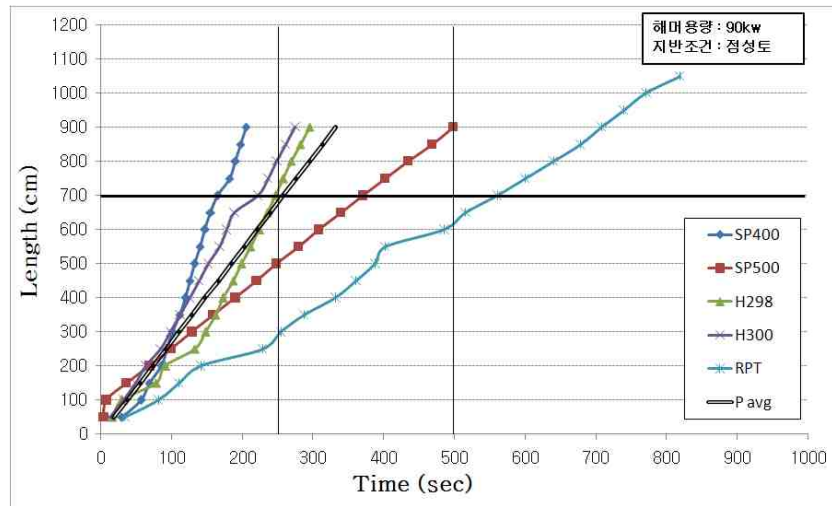
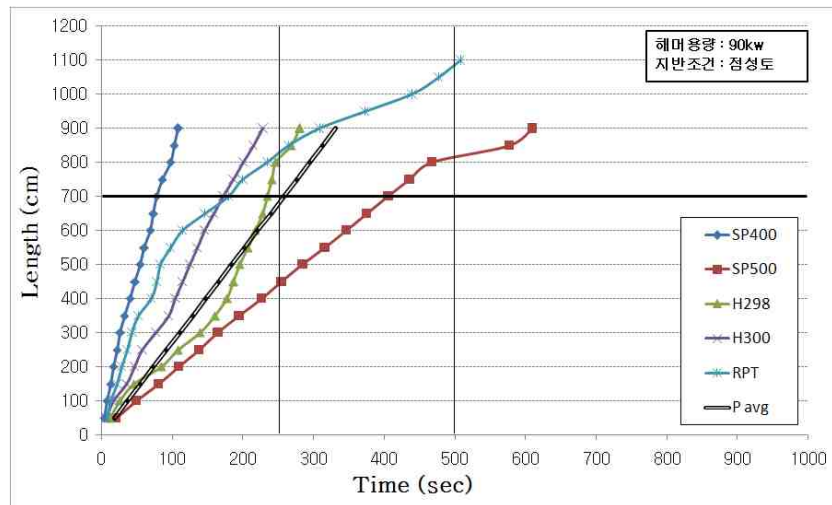


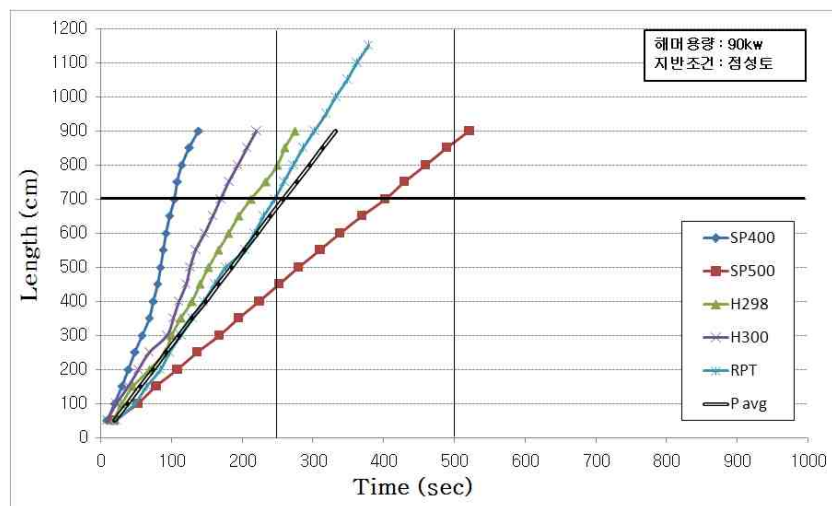
그림 5.7 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 관입깊이 평균값 비교 그래프



(a) Pile 및 RPT(보강판)의 1차 시간별 관입깊이 비교 그래프



(b) Pile 및 RPT(보강판)의 2차 시간별 관입깊이 비교 그래프



(c) Pile 및 RPT(보강판)의 3차 시간별 관입깊이 비교 그래프

그림 5.8 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 관입깊이 비교 그래프

### 5.3.2. 아치형 판넬의 관입 비교

아치형 판넬(AP) 관입 시험은 각 판넬별로 3회씩 실시하였고 각 관입시간을 측정하여 평균값을 계산해서 그림 5.9와 같이 그래프로 나타내었다. 관입깊이 700cm 기준으로 판넬군의 평균 시간은 481초이며, 각 판넬군의 평균 관입시간은 R2+S(447초) - R2(462초) - B(482초) - R1(501초) - N(515초) 순으로 나타났다. 관입시간 평균값과 최소값은 34초의 차이를 보이며, 최대값과도 34초의 차이를 보인다. 연약지반에서의 부재 관입 성능은 부재 단면이나 무게에 따라 크게 차이가 나지 않은 것으로 나타났다. 또한 관입깊이 700cm 기준으로, 판넬군의 평균 관입시간과 파일군의 평균 관입시간의 차이는 230초이다. 이것은 판넬군이 파일군보다 단면적이 더 크기 때문으로 판단된다.

여기서, 아치형 판넬(AP) R1의 1차 관입시간과 R2+S의 2차 관입시간 데이터는 평균값 산정에서 제외하였다. 아치형 판넬(AP) R1의 1차 관입 데이터는 시험 시공 시 장비 운전기사의 조작 실수로 관입의 속도가 현저히 떨어져 평균값 산정에서 제외하였고, R2+S의 2차 관입 데이터는 두 개의 요소부재 연결 시 볼트체결이 견고히 이루어지지 않아 진동전달이 감소되어 관입 시간이 지체되었기 때문에 평균값을 계산 시 제외 시켰다. 그러나 이러한 요인들은 추후 아치형 벽체 공법을 현장 적용 시 고려해야 될 사항이다.

그림 5.10은 아치형 판넬(AP)의 시간별 관입깊이 비교 그래프이다. (a)는 1차 관입 그래프이며, 관입 700cm 기준으로 R2+S(429초) - B(437초) - R2(459초) - N(562초) - R1(738초)의 순서로 관입되었다. (b)는 2차 관입 그래프이며, 관입 700cm 기준으로 R2(446초) - R1(456초) - N(466초) - B(495초) - R2+S(623초)의 순서로 관입되었고, (c)는 3차 관입 그래프이며, 700cm 기준으로 R2+S(464초) - R2(480초) - B(514초) - N(516초) - R1(546초)의 순서로 관입되었다. 각 그래프에서 비교를 위해 판넬군 평균값(AP avg)도 같이 나타내 주었다.

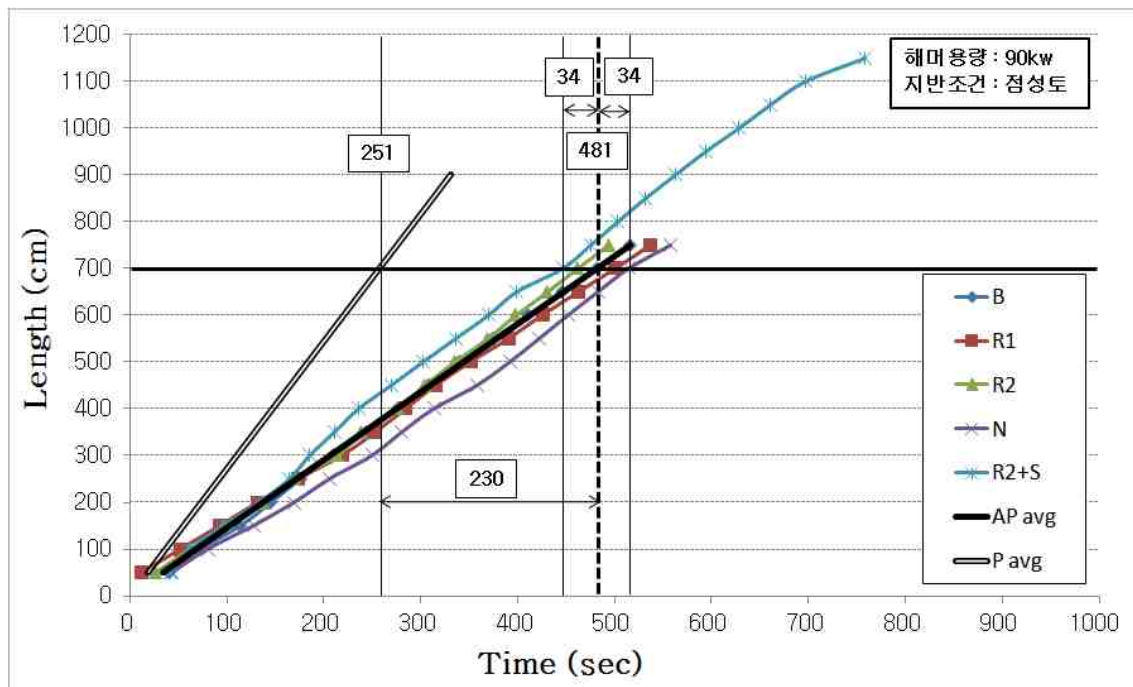
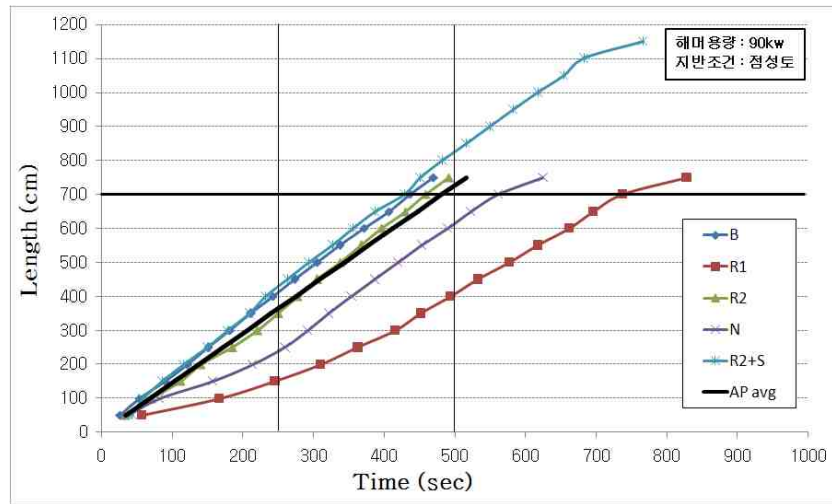
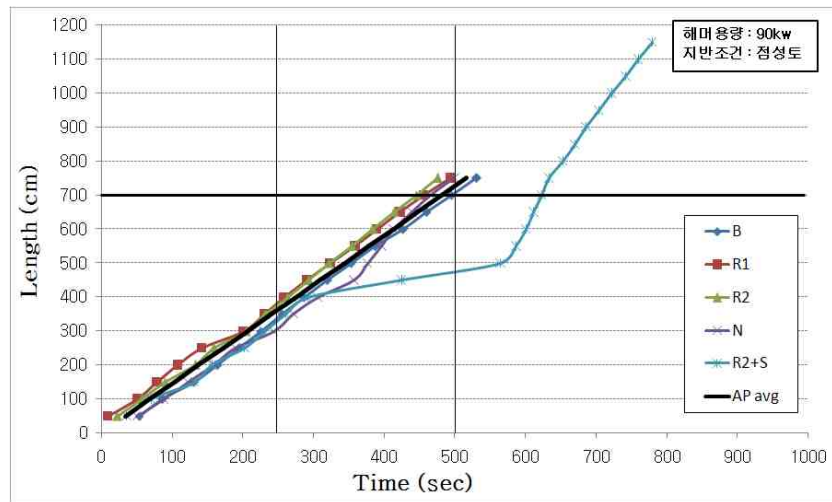


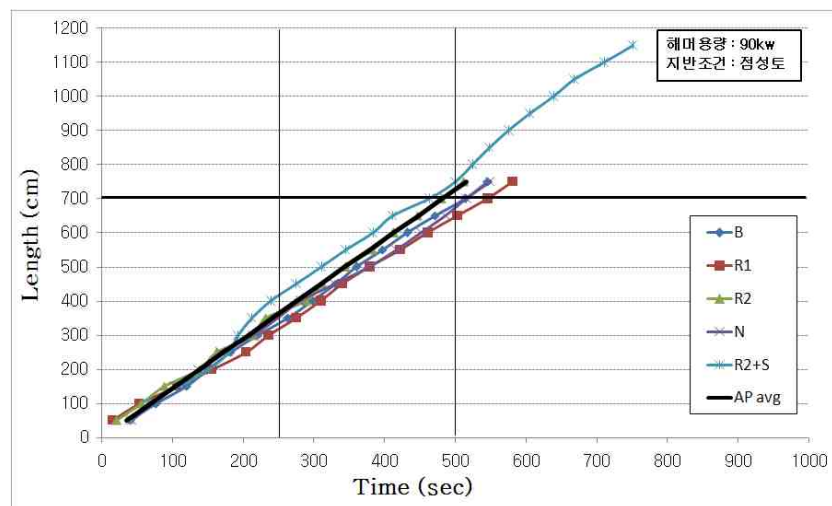
그림 5.9 아치형 판넬(AP)의 시간별 관입깊이 평균값 비교 그래프



(a) 아치형 판넬(AP)의 1차 시간별 관입깊이 비교 그래프



(b) 아치형 판넬(AP)의 2차 시간별 관입깊이 비교 그래프



(c) 아치형 판넬(AP)의 3차 시간별 관입깊이 비교 그래프

그림 5.10 아치형 판넬(AP)의 시간별 관입깊이 비교 그래프

### 5.3.3. Pile 및 RPT(보강판)의 인발 비교

아치형 판별 인발 시험의 결과를 분석하기 위해 비교 시험으로 Pile 및 RPT(보강판)의 인발 시험을 실시하였다. 각 파일별로 3회를 실시하였고 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 인발깊이의 평균값을 그림 5.11과 같은 비교 그래프로 나타내었다. 인발깊이 700cm를 기준으로 파일군의 평균 시간(P avg)은 88초이며, 각 파일군의 평균 인발시간은 SP500(63초) - H298(83초) - SP400(95초) - RPT(96초) - H300(103초) 순으로 나타났다. 인발시간 평균값과 최소값은 25초의 차이를 보이며, 최대값과는 15초의 차이를 보인다. 파일군의 인발 시 부재의 단면적이나 중량에 상관없이 일정한 인발 시간을 갖는 것을 알 수 있었다. 그러나 본 시험은 관입후 많은 시간이 경과되지 않은 상태에서 인발한 것이므로 점성토의 점착력이 발휘된다면 인발시간에도 큰 변화가 일어날 것으로 판단된다.

그림 5.12는 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 인발깊이 비교 그래프이다. (a)는 1차 인발 그래프이며, 인발 700cm 기준으로 SP500(74초) - H298(83초) - RPT(86초) - SP400(111초) - H300(136초)의 순서로 인발되었다. (b)는 2차 인발 그래프이며, 인발 700cm 기준으로 SP500(57초) - H300(77초) - SP400(81초) - H298(86초) - RPT(119초)의 순서로 인발되었고, (c)는 3차 인발 그래프이며, 700cm 기준으로 SP500(58초) - H298(80초) - RPT(82초) - SP400(94초) - H300(95초)의 순서로 인발되었다. 각 그래프에서 비교를 위해 파일군 평균값(P avg)도 같이 나타내 주었다.

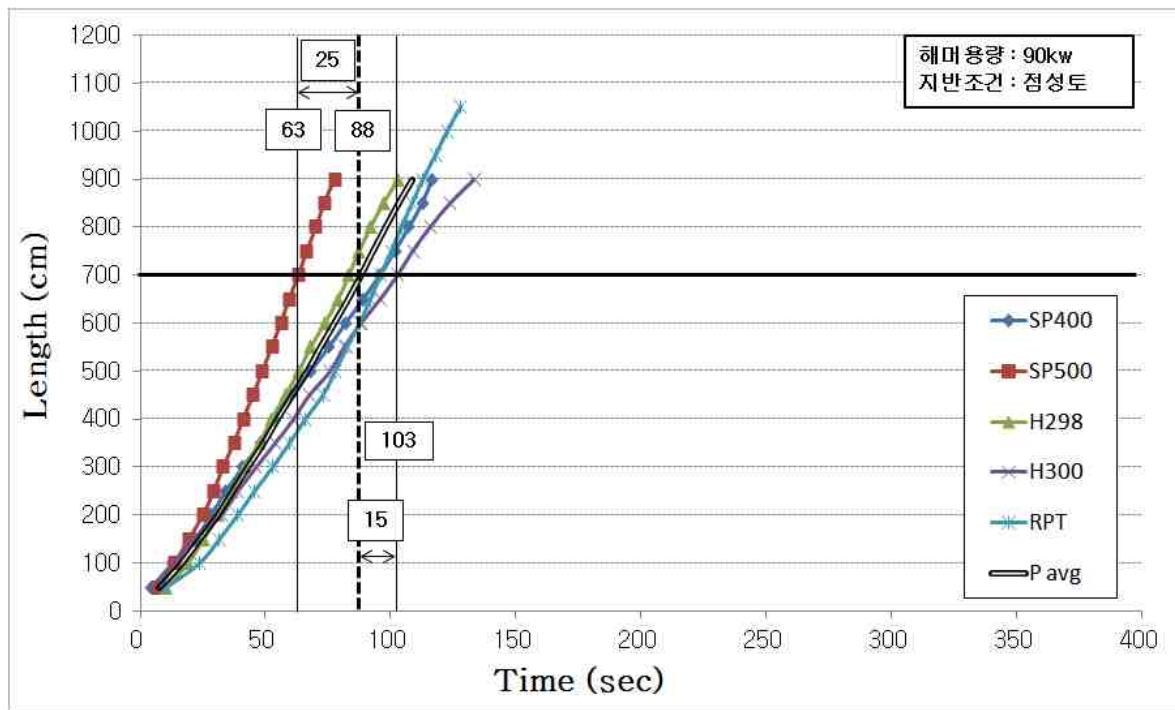
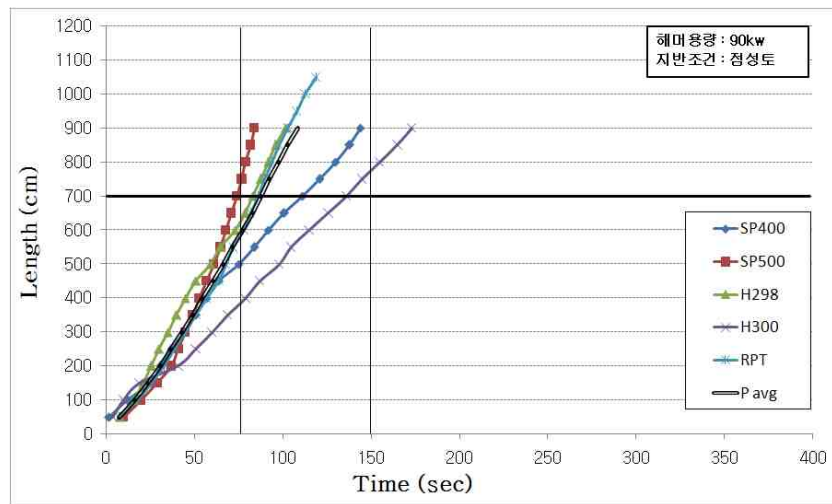
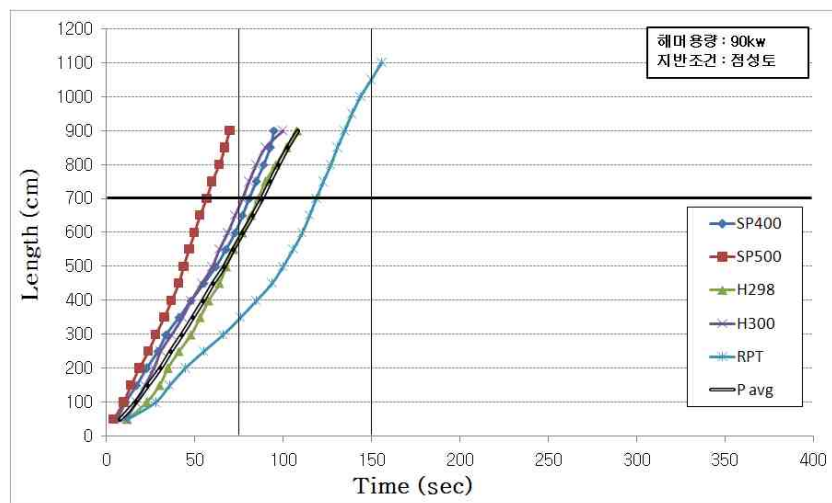


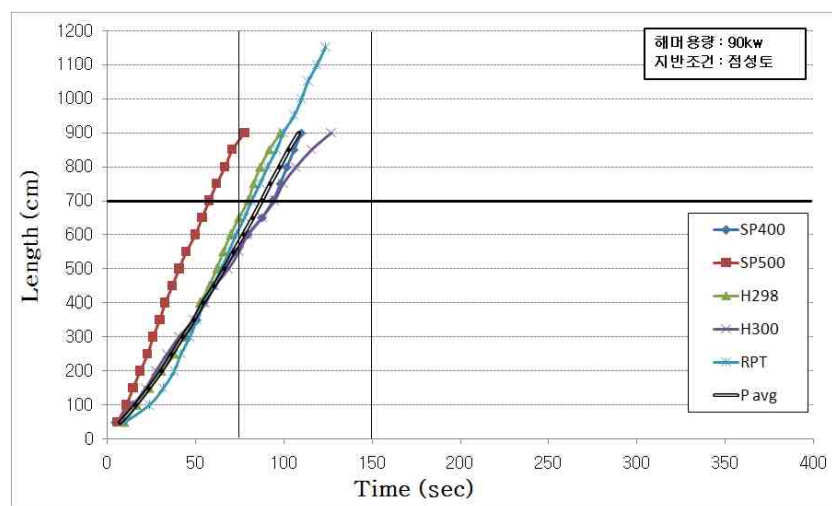
그림 5.11 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 인발깊이 평균값 비교 그래프



(a) Pile 및 RPT(보강판)의 1차 시간별 인발깊이 비교 그래프



(b) Pile 및 RPT(보강판)의 2차 시간별 인발깊이 비교 그래프



(c) Pile 및 RPT(보강판)의 3차 시간별 인발깊이 비교 그래프

그림 5.12 Pile 및 RPT(보강판)의 시간별 인발깊이 비교 그래프

#### 5.3.4. 아치형 판넬의 인발 비교

아치형 판넬(AP) 인발 시험은 각 판넬별로 3회씩 실시하였고 각 인발시간을 측정하여 평균 값을 그림 5.13과 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 인발깊이 700cm 기준으로 판넬군의 평균 시간은 137초이며, 각 판넬군의 평균 인발시간은 B(98초) - R2(122초) - R1(135초) - N(142초) - R2+S(187초) 순으로 나타났다. 인발시간 평균값과 최소값은 34초의 차이를 보이며, 최대값과도 34초의 차이를 보인다. 판넬군의 인발은 부재의 중량에 일정부분 관련이 있는 것으로 파악되었지만, 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 인발시 1m구간까지는 지연되다 1m이후 급격히 인발이 진행되는 현상이 공통적으로 나타남을 볼 수 있다. 이는 인발초기에 지반이 불교란 상태로 있다가 바이브로해머에 의해 진동으로 지반이 교란되어 마찰력이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다. 인발깊이 700cm 기준, 판넬군의 평균 인발시간과 파일군의 평균 인발시간의 차이는 49초이다. 이것은 판넬군이 파일군보다 단면적과 중량이 더 크기 때문으로 판단된다.

여기서, 아치형 판넬(AP) R2+S의 2차 인발시간 데이터는 평균값 산정에서 제외하였다. 아치형 판넬(AP) R2+S의 2차 인발 데이터는 두 개의 요소부재 연결 시 볼트체결이 견고히 이루어지지 않아 인발 시 진동전달이 제대로 이루어지지 않아 인발 시간이 지체되었기 때문에 평균값 산정에서 제외하였다. 추후 시공 시 풀림방지 와셔나 풀림방지 볼트를 사용하여 볼트의 풀림을 방지해야 할 것이다.

그림 5.14는 아치형 판넬(AP)의 시간별 인발깊이 비교 그래프이다. (a)는 1차 인발 그래프이며, 인발 700cm 기준으로 B(76초) - R2(129초) - N(151초) - R2+S(169초) - R1(191초)의 순서로 인발되었다. (b)는 2차 인발 그래프이며, 인발 700cm 기준으로 R1(99초) - B(113초) - R2(117초) - N(119초) - R2+S(300초)의 순서로 인발되었고, (c)는 3차 인발 그래프이며, 700cm 기준으로 B(105초) - R1(114초) - R2(120초) - N(156초) - R2+S(204초)의 순서로 인발되었다. 각 그래프에서 비교를 위해 판넬군 평균값(AP avg)도 같이 나타내 주었다.

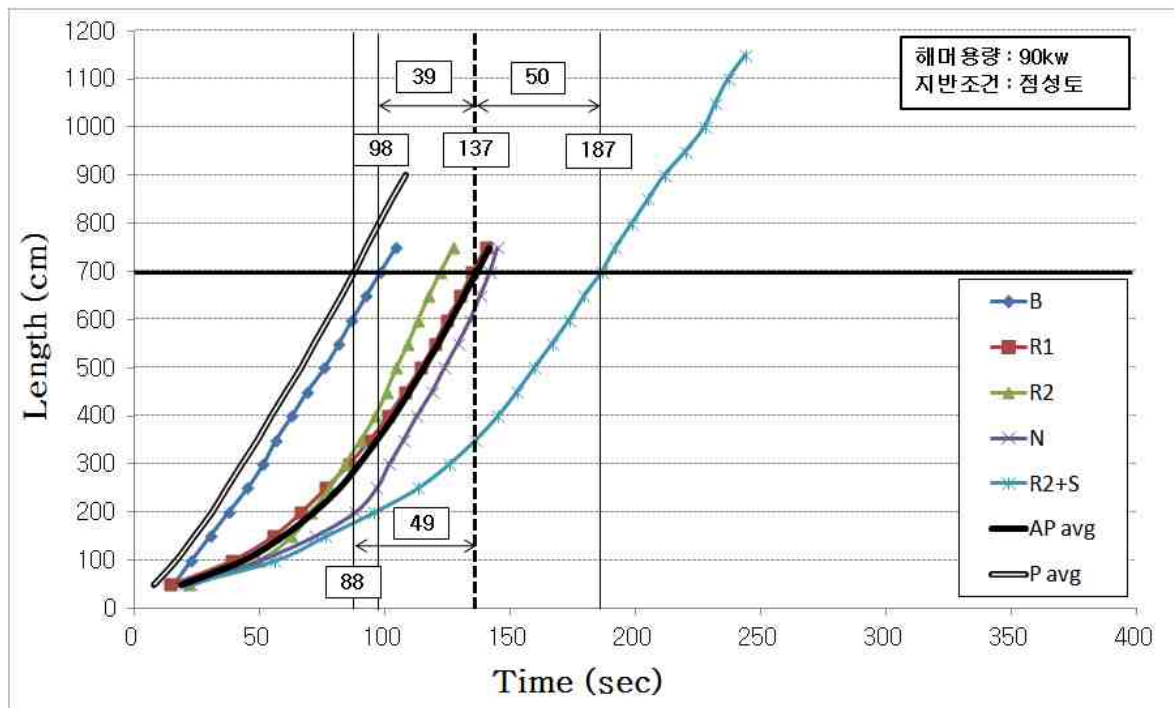
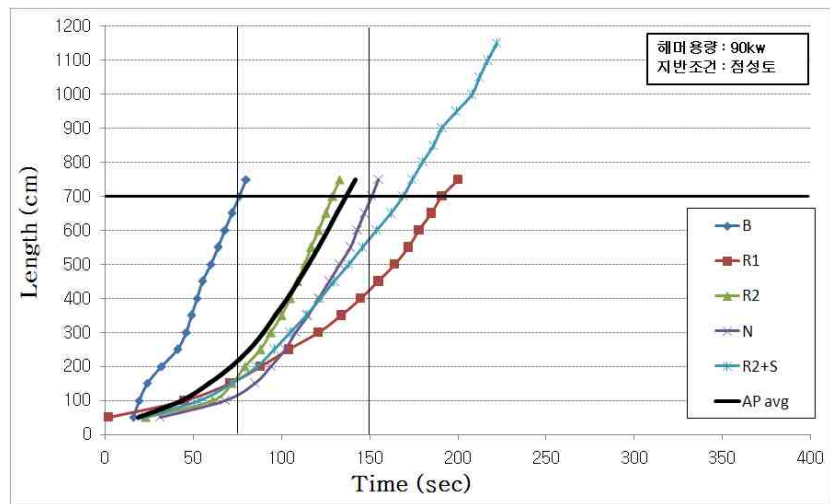
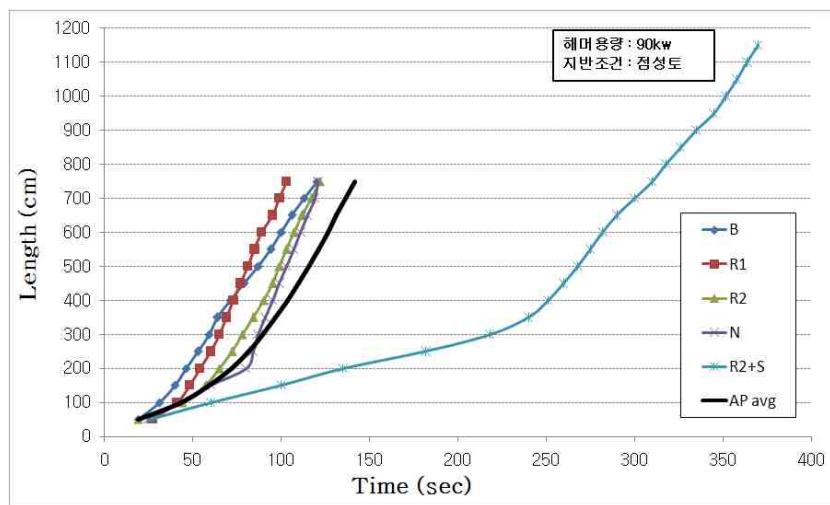


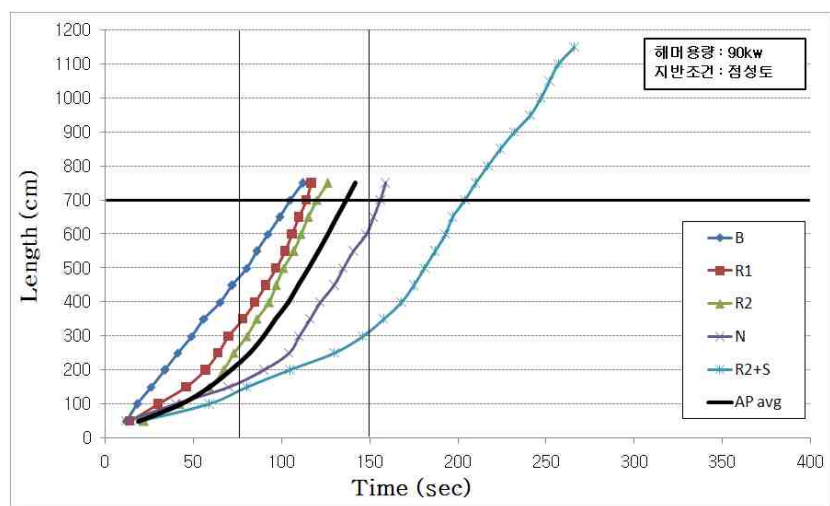
그림 5.13 아치형 판넬(AP)의 시간별 인발깊이 평균값 비교 그래프



(a) 아치형 판넬(AP)의 1차 시간별 인발깊이 비교 그래프



(b) 아치형 판넬(AP)의 2차 시간별 인발깊이 비교 그래프



(c) 아치형 판넬(AP)의 3차 시간별 인발깊이 비교 그래프

그림 5.14 아치형 판넬(AP)의 시간별 인발깊이 비교 그래프

## 5.3.5. 관입 및 인발 결과 분석

아래 표 5.3과 5.4에 계측 값을 정리하였다. 표 5.3은 관입 시간을 비교한 표로 계측 결과 파일군은 SP400 → H300 → H298 → RPT → SP500의 순으로, 판넬군은 R2+S → R2 → B → R1 → N의 순으로 관입이 된 것을 알 수 있다. 파일군의 평균 관입 시간은 251초로 판넬군 평균 관입 시간 481초의 52%이다.

표 5.4는 인발 시간을 비교한 표로 계측결과 파일군은 SP500 → H298 → SP400 → RPT → H300의 순으로, 판넬군은 B → R2 → R1 → N → R2+S의 순으로 인발된 것을 알 수 있다. 파일군의 평균 인발 시간은 88초로 판넬군 평균인발 시간 137초의 64%이다.

표 5.3 관입 시간 비교표

| 구 분         |       | A<br>(cm <sup>2</sup> ) | L<br>(m) | W<br>(ton) | 관입 시간(700cm 기준, sec) |     |     |            |            |     |
|-------------|-------|-------------------------|----------|------------|----------------------|-----|-----|------------|------------|-----|
|             |       |                         |          |            | 1차                   | 2차  | 3차  | 부 재<br>평 균 | 표 준<br>편 차 | 평 균 |
| 파<br>일<br>군 | RPT   | 166.9                   | 12       | 1.8        | 561                  | 180 | 245 | 329        | 166.41     | 251 |
|             | H298  | 83.7                    | 10       | 1          | 247                  | 235 | 212 | 231        | 14.52      |     |
|             | H300  | 119.8                   | 10       | 0.7        | 222                  | 173 | 169 | 188        | 24.09      |     |
|             | SP400 | 76.4                    | 10       | 0.6        | 165                  | 78  | 104 | 116        | 36.46      |     |
|             | SP500 | 133.8                   | 10       | 1          | 371                  | 406 | 402 | 393        | 15.64      |     |
| 판<br>넬<br>군 | B     | 362.2                   | 8.4      | 2.2        | 437                  | 495 | 514 | 482        | 32.75      | 481 |
|             | R1    | 370.7                   | 8.4      | 2.2        | -                    | 456 | 546 | 501        | 45.00      |     |
|             | R2    | 470.7                   | 8.4      | 2.3        | 459                  | 446 | 480 | 462        | 14.01      |     |
|             | N     | 484.3                   | 8.4      | 3.3        | 562                  | 466 | 516 | 515        | 39.20      |     |
|             | R2+S  | 462.2                   | 12       | 3.8        | 429                  | -   | 464 | 447        | 17.50      |     |

표 5.4 인발 시간 비교표

| 구 분         |       | A<br>(cm <sup>2</sup> ) | L<br>(m) | W<br>(ton) | 인발 시간(700cm 기준, sec) |     |     |            |            |     |
|-------------|-------|-------------------------|----------|------------|----------------------|-----|-----|------------|------------|-----|
|             |       |                         |          |            | 1차                   | 2차  | 3차  | 부 재<br>평 균 | 표 준<br>편 차 | 평 균 |
| 파<br>일<br>군 | RPT   | 166.9                   | 12       | 1.8        | 86                   | 119 | 82  | 96         | 16.58      | 88  |
|             | H298  | 83.7                    | 10       | 1          | 83                   | 86  | 80  | 83         | 2.45       |     |
|             | H300  | 119.8                   | 10       | 0.7        | 136                  | 77  | 95  | 103        | 24.69      |     |
|             | SP400 | 76.4                    | 10       | 0.6        | 111                  | 81  | 94  | 95         | 12.28      |     |
|             | SP500 | 133.8                   | 10       | 1          | 74                   | 57  | 58  | 63         | 7.79       |     |
| 판<br>넬<br>군 | B     | 362.2                   | 8.4      | 2.2        | 76                   | 113 | 105 | 98         | 15.89      | 137 |
|             | R1    | 370.7                   | 8.4      | 2.2        | 191                  | 99  | 114 | 135        | 40.30      |     |
|             | R2    | 470.7                   | 8.4      | 2.3        | 129                  | 117 | 120 | 122        | 5.09       |     |
|             | N     | 484.3                   | 8.4      | 3.3        | 151                  | 119 | 156 | 142        | 16.39      |     |
|             | R2+S  | 462.2                   | 12       | 3.8        | 169                  | -   | 204 | 187        | 17.50      |     |

그림 5.15는 부재의 단면적에 대한 부재별 관입 및 인발 시간을 비교하였고, 그림 5.16은 단면적 증가에 따른 관입 및 인발 시간을 비교하였다. 관입 시험 결과 파일군은 SP400 → H300 → H298 → RPT → SP500의 순으로, 판넬군은 R2+S → R2 → B → R1 → N의 순으로 관입이 된 것을 알 수 있다.

인발 시험 결과 파일군은 SP500 → H298 → SP400 → RPT → H300의 순으로, 판넬군은 B → R2 → R1 → N → R2+S의 순으로 인발된 것을 알 수 있다. 관입시간 및 인발시간은 판넬 단부의 두께 변화와 조립식 판넬의 보강된 연결부, 단부 보강판 부착, 등으로 인한 단부 단면적의 변화에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

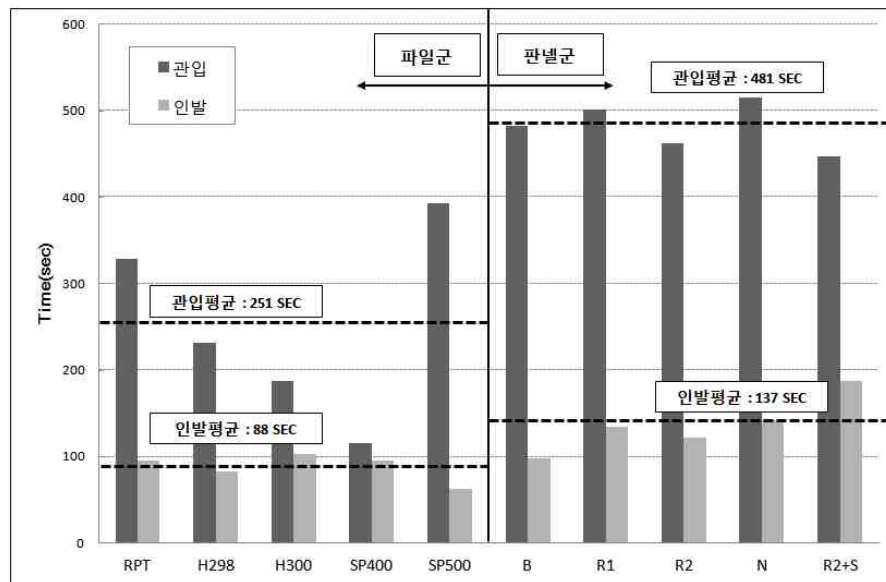


그림 5.15 부재별 관입 및 인발 시간 비교 그래프

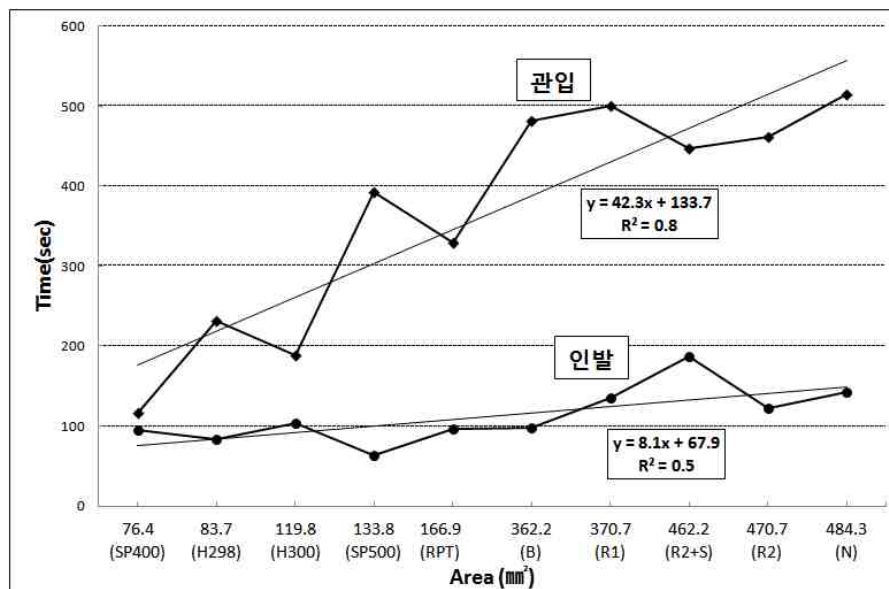


그림 5.16 단면적 증가에 따른 관입 및 인발 시간 비교 그래프

### 5.3.6. 시공 경과 시간 측정 및 분석

시험 시공을 실시하는 동안 각 부재들이 준비과정을 거쳐 관입, 인발되는 시공단계별 경과 시간을 측정하여 판넬군이 파일군에 비해 추가 소요시간이 얼마나 증가하는지 측정하였다. A시간은 부재를 크레인과 연결하여 인양하는데 걸리는 시간을 나타낸 것이고, B시간은 인양된 부재를 바이브로 해머와 연결, 압착시키는데 걸리는 시간을 나타낸 것이다. C시간은 부재가 바이브로 해머에 연결된 상태에서 관입 위치까지 이동하는 시간을 나타낸 것이고, D시간은 관입 시간을 나타낸 것이다. E시간은 인발을 위해 바이브로 해머와 부재를 연결하는 시간을 나타낸 것이고, F시간은 인발시간을 나타낸 것이다. 마지막으로 G시간은 인발이 끝난 부재를 야적 장소로 이동시키는데 소요되는 시간을 나타낸 것이다. 이 과정을 순서대로 표시하면 그림 5.17과 같다.

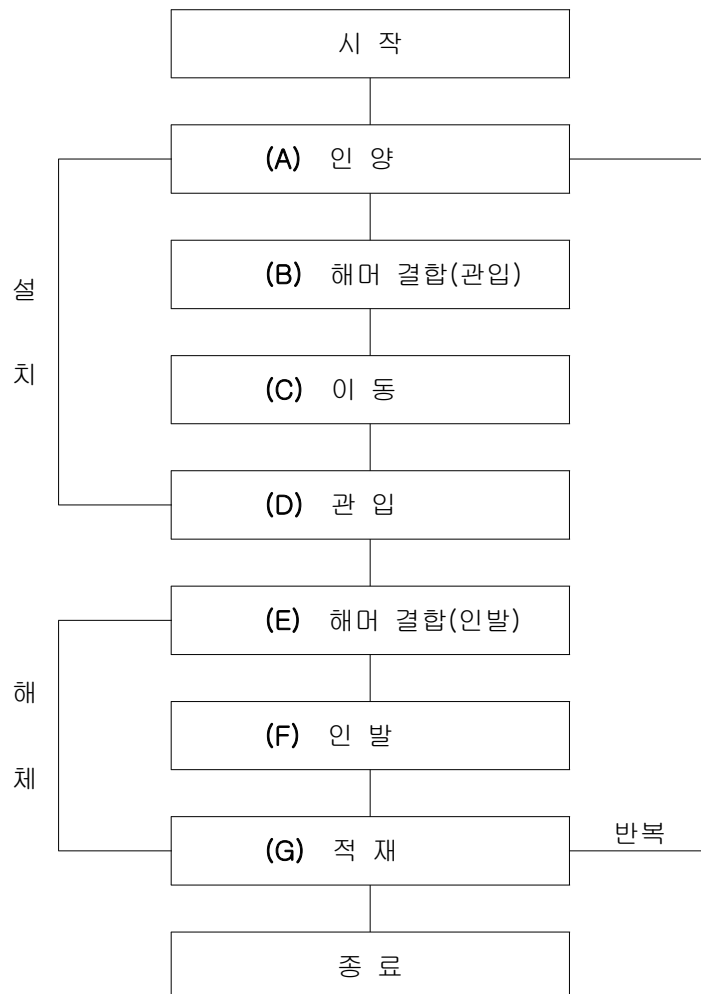


그림 5.17 시험 작업 순서도

이러한 각 시공단계별 경과 시간을 측정한 결과는 표 5.5와 같다. 판넬군의 총 평균 시험 시공 완료 시간은 48.6분이며 표준편차는 11.0분이다. 파일군의 총 평균 시험 시공 완료 시간은 27.4분이며 표준편차는 6.1분으로 측정되었다. 파일군에 비해 판넬군의 시공시간이 긴 시간은 관입 시 해머 결합 시간과 관입 시간이다. 관입 시 해머 결합 시간은 바이브로 해머와 부재를 연결하는 시간으로, 판넬군이 평균 13.6분이 늦는 것으로 나타났다. 그 이유는 판넬군의 중량이 크기 때문이며, 작업자의 숙련도에 따라 감소될 수 있을 것이다. 그 다음으로 작업시간이 길게 소요되는 작업공정은 판넬군의 관입으로 판넬의 단면적이 크기 때문인 것으로 분석된다.

아치형 판넬과 시트파일을 2.5m 구간 설치한다고 했을 경우, 아치형 벽체는 1개소와 H300 1개소가 필요하고, 시트파일의 경우 SP500 5개소가 필요하다. 이 두 경우의 시공시간을 계산하면 식 5.1, 식 5.2와 같다. 이와 같이 아치형 판넬이 64.4분(48%) 시간을 단축시키는 것을 볼 수 있다.

아치형 판넬로 설치할 경우 (2.5m 구간) :  $48.6 + 22.0 = 70.6$  분 ( 52%) (식 5.1)

시트파일로 설치할 경우 (2.5m 구간) :  $27.0 \times 5 = 135.0$  분 (100%) (식 5.2)

표 5.5 부재별 시공단계 평균 경과 시간

(단위 : 분)

| 구 분         |       |      | 설 치 |    |    |    | 해 체 |    |    | 합계 | 평균   | 표준<br>편차 |
|-------------|-------|------|-----|----|----|----|-----|----|----|----|------|----------|
|             |       |      | A   | B  | C  | D  | E   | F  | G  |    |      |          |
| 판<br>넬<br>군 | B     | 소요시간 | 2   | 9  | 1  | 10 | 5   | 2  | 5  | 34 | 48.6 | 11.0     |
|             |       | 누적시간 | 2   | 11 | 12 | 22 | 27  | 29 | 34 |    |      |          |
|             | R1    | 소요시간 | 6   | 20 | 1  | 15 | 5   | 2  | 9  | 58 |      |          |
|             |       | 누적시간 | 6   | 26 | 27 | 42 | 47  | 49 | 58 |    |      |          |
|             | R2    | 소요시간 | 2   | 8  | 1  | 10 | 9   | 3  | 6  | 39 |      |          |
|             |       | 누적시간 | 2   | 10 | 11 | 21 | 30  | 33 | 39 |    |      |          |
|             | N     | 소요시간 | 3   | 20 | 1  | 11 | 4   | 4  | 6  | 49 |      |          |
|             |       | 누적시간 | 3   | 23 | 24 | 35 | 39  | 43 | 49 |    |      |          |
|             | S+R2  | 소요시간 | 2   | 30 | 1  | 10 | 2   | 7  | 11 | 63 |      |          |
|             |       | 누적시간 | 2   | 32 | 33 | 43 | 45  | 52 | 63 |    |      |          |
| 파<br>일<br>군 | RPT   | 소요시간 | 2   | 8  | 1  | 13 | 6   | 2  | 6  | 38 | 27.4 | 6.1      |
|             |       | 누적시간 | 2   | 10 | 11 | 24 | 30  | 32 | 38 |    |      |          |
|             | H298  | 소요시간 | 2   | 3  | 1  | 5  | 5   | 2  | 3  | 21 |      |          |
|             |       | 누적시간 | 2   | 5  | 6  | 11 | 16  | 18 | 21 |    |      |          |
|             | H300  | 소요시간 | 2   | 3  | 1  | 5  | 6   | 2  | 3  | 22 |      |          |
|             |       | 누적시간 | 2   | 5  | 6  | 11 | 16  | 18 | 22 |    |      |          |
|             | SP400 | 소요시간 | 3   | 6  | 1  | 6  | 6   | 3  | 4  | 29 |      |          |
|             |       | 누적시간 | 3   | 9  | 10 | 16 | 22  | 25 | 29 |    |      |          |
|             | SP500 | 소요시간 | 1   | 4  | 1  | 10 | 6   | 2  | 3  | 27 |      |          |
|             |       | 누적시간 | 1   | 5  | 6  | 16 | 22  | 24 | 27 |    |      |          |

그림 5.18은 각 부재별 시공소요시간을 그래프로 나타낸 것이며, 대체적으로 판넬군이 파일 군보다 시공소요시간이 더 큰 것을 알 수 있다.

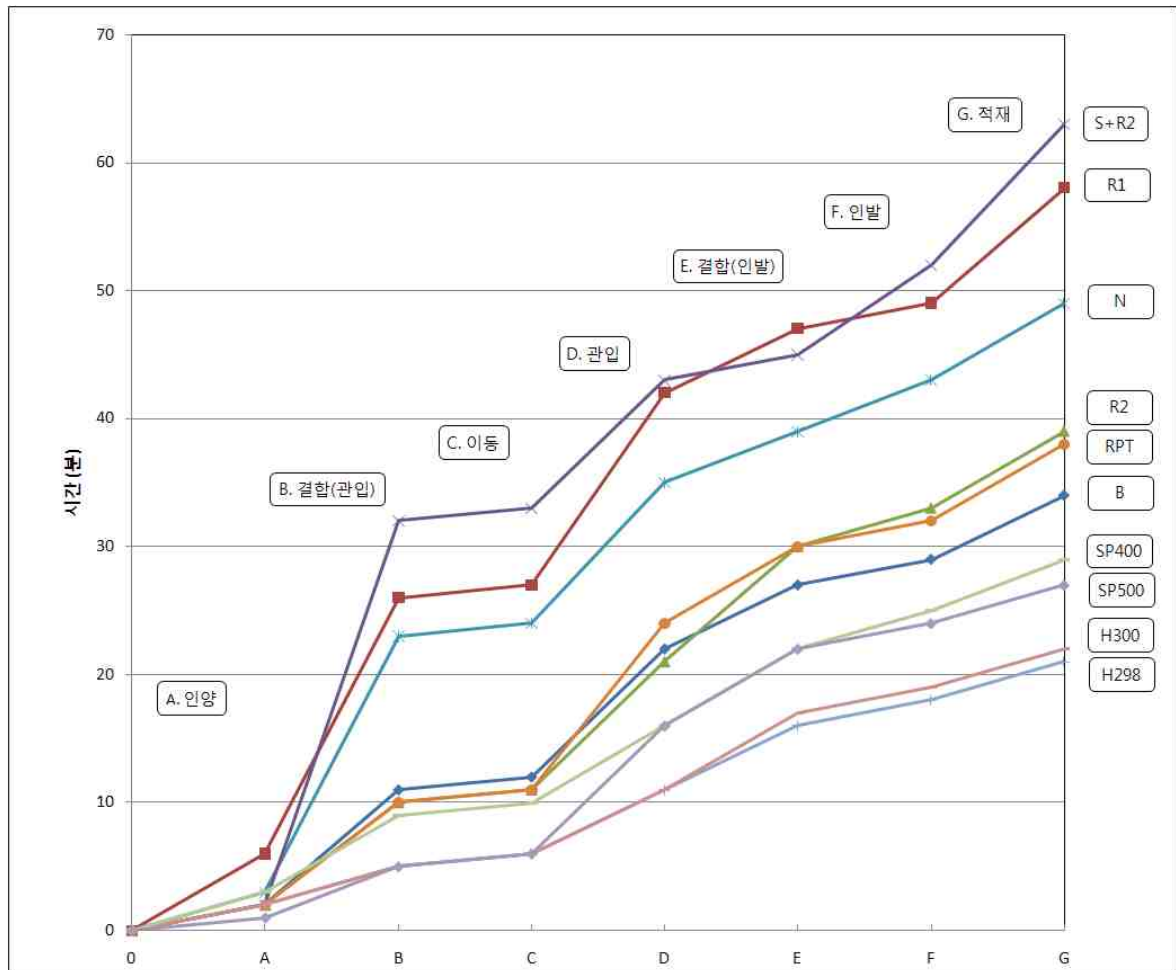


그림 5.18 부재별 시공단계누적 시간 비교 그래프

### 5.3.7. 경제성 분석

10m x 10m 폐합형 굴착공사현장을 가정하여 공사비를 비교하였다.

시험 시공시 개발부재의 제작비가 350만원, H-Pile 구매 가격이 85만원이었고 Sheet Pile은 90만원이었다. 10m x 10m 현장에 공법을 적용한다고 가정한다면 개발 공법은 개발부재 16개, H-Pile 16개로 696만원의 자재비가 소모되고 Sheet Pile 공법의 경우 Sheet Pile 80개로 720만원의 자재비가 소모된다. 개발공법이 기존 공법 (Sheet Pile 공법)보다 3% 자재비를 절감할 수 있다.

개발 공법의 2.5m 설치 소요시간은 70분으로 10m x 10m 현장 시공시 3일의 시간이 소요되고, Sheet Pile 공법은 2.5m 설치 소요시간이 135분으로 10m x 10m 현장 시공시 5일의 시간이 소요된다. 현장 시공시 필요한 인건비와 장비를 공사 기간에 따라 계산한 결과 개발공법은 558만원, Sheet Pile 공법은 930만원 소요된다. 개발공법이 기존공법 (Sheet Pile 공법)보다 40% 공사비를 절감할 수 있다.

총 현장 공사 비용을 살펴보면 개발공법은 7,518만원, 기존공법 (Sheet Pile 공법)은 8,130만원 소요되었다. 개발 공법이 기존공법 (Sheet Pile 공법)보다 8%의 공사비를 절감시켰다. 자재비의 경우 3%의 크지 않은 경쟁력을 보였지만 공사비에서는 공사기간이 대폭 절감됨에 따라 40%의 큰 경쟁력을 보였다.

본 개발 공법은 중소규모 굴착 공사 현장에 적용하는 것을 목표로 하고 있다. 교각 가시설이나 관로형의 경우 굴착 깊이는 깊지 않지만 그 개수가 많거나 현장이 큰 경우가 많다. 이러한 큰 현장의 경우 공사기간 단축에 따른 공사비 절감의 효과가 더욱 크게 작용할 것으로 보인다.

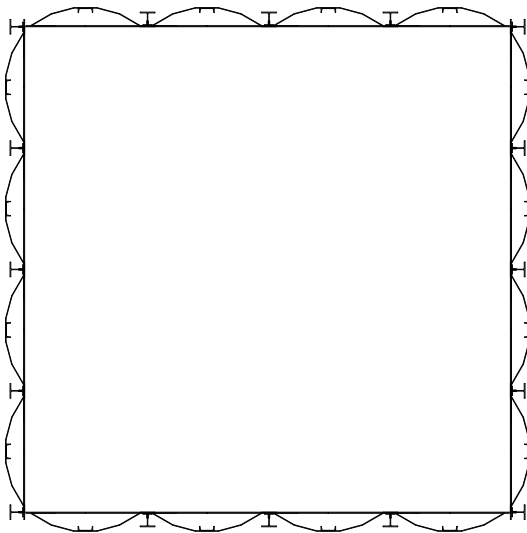


표 5.6 공법별 현장시공(가정) 비용 비교

( 단위 : 천원 )

| 공정                  |     | 규격              | 수량                    | 단위 | 단가 | 금액     | 비고                                                                                  |
|---------------------|-----|-----------------|-----------------------|----|----|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 개발<br>공법            | 자재비 | 개발부재            | 2.4m x 0.3m<br>x 8.4m | 16 | EA | 3,500  | 56,000                                                                              |
|                     |     | H_Pile          | 300 x 300             | 16 | EA | 850    | 13,600                                                                              |
|                     | 소계  |                 |                       |    |    | 69,600 | 3일<br>(하루 8시간 기준)                                                                   |
|                     | 공사비 | 인건비             | 철골공 (3인)              | 3  | 일  | 360    | 1,080                                                                               |
|                     |     | 크레인             | 50 ton                | 3  | 일  | 800    | 2,400                                                                               |
|                     |     | 바이브로 해머<br>+발전기 | 90kW                  | 3  | 일  | 700    | 2,100                                                                               |
|                     | 소계  |                 |                       |    |    | 5,580  | ■2.5m 설치<br>소요시간 70 분<br><br>■70분 * 16 =<br>1120 분 ≒ 3일<br><br>※ 40m/2.5m<br>= 16   |
|                     | 합계  |                 |                       |    |    | 75,180 |                                                                                     |
| 공정                  |     | 규격              | 수량                    | 단위 | 단가 | 금액     | 비고                                                                                  |
| Sheet<br>Pile<br>공법 | 자재비 | Sheet Pile      | 500 x 200             | 80 | EA | 900    | 72,000                                                                              |
|                     | 소계  |                 |                       |    |    | 72,000 | 5일<br>(하루 8시간 기준)                                                                   |
|                     | 공사비 | 인건비             | 철골공 (3인)              | 5  | 일  | 360    | 1,800                                                                               |
|                     |     | 크레인             | 50 ton                | 5  | 일  | 800    | 4,000                                                                               |
|                     |     | 바이브로 해머<br>+발전기 | 90kW                  | 5  | 일  | 700    | 3,500                                                                               |
|                     | 소계  |                 |                       |    |    | 9,300  | ■2.5m 설치<br>소요시간 135 분<br><br>■135분 * 16 =<br>2160 분 ≒ 5일<br><br>※ 40m/2.5m<br>= 16 |
|                     | 합계  |                 |                       |    |    | 81,300 |                                                                                     |

## 5.3.8. 시험 시공 시 문제점 분석 및 개선사항 제시

시험 시공 시에 다음과 같이 몇 가지 문제가 도출되었다. 아치형 벽체 공법의 시공성을 높이기 위해 문제점을 분석하고 해결책을 제시하였으며, 표 5.6에 내용을 정리하였다.

표 5.7 시험 시공 시 문제점과 해결책

| 구분 | 공정           | 문제점                | 원인 분석                      | 해결책                                          |
|----|--------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| 1  | 판넬<br>삽입 시   | • 바이브로해머 결합시간 지연   | • 숙련도 부족<br>• 해머그립 식별의 어려움 | • 훈련을 통한 숙련도 향상<br>• 인양 시 해머그립 식별 가능한 가이드 표시 |
| 2  |              | • 수직도 조정으로 인한 시간지연 | • 숙련도 부족<br>• 벽체 말뚝 미시공    | • 훈련을 통한 숙련도 향상<br>• 시공 시 벽체 말뚝 시공           |
| 3  | Pile<br>삽입 시 | • 바이브로해머 결합시간 지연   | • 숙련도 부족                   | • 훈련을 통한 숙련도 향상                              |
| 4  |              | • 수직도 조정으로 인한 시간지연 | • 가이드 빔 미설치                | • 실시공시 가이드 빔 설치                              |
| 5  | 적재 시         | • 아치형으로 인한 적재 시간지연 | • 크레인을 이용한 적재로 시간지연        | • 평판부 맞대기 적재<br>• 실시공시 지게차를 이용한 적재           |

## 6. 결론

본 연구에서는 아치형벽체 공법을 개발하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1. 아치형벽체 공법의 요소부재인 아치형 판넬은 구조계산 및 상세 설계를 통하여 기존의 유사벽체 공법보다 시공이 효율적이고, 굴착 시 자립 능력과 안정성이 향상된, 경제적인 벽체 공법을 실용화 하였다.
2. 아치형벽체 공법은 2~6m까지 다양한 깊이의 굴착심도에 사용 가능하도록 벽체의 길이를 조절할 수 있는 판넬을 조립식으로 설계, 제작하였기 때문에 조립된 아치형벽체는 깊이 12m까지 관입시간의 지연 없이 관입됨으로 해서 최대 관입깊이는 실험된 깊이보다 클 것으로 판단되었으며, 인발 후 외관관찰에서 관입 작업 중 볼트가 느슨해지는 문제가 있는 것이 발견되어, 풀림 방지책을 제시하였다.
3. 본 아치형벽체 공법은 연약지반에서 주로 사용되는 것을 고려하여 굴착 시 발생할 수 있는 히빙 및 보일링 현상을 방지할 수 있도록 판넬 내부로 삽입되는 보강판을 추가 제작하였고, 보강판 삽입 시 문제가 없는 것으로 판명되었다.
4. 관입 시험 결과 파일군의 평균 관입 시간은 251초로 판넬군 평균 관입 시간 481초의 52%이며 또한 인발 시험 결과 파일군의 평균 인발 시간은 88초로 판넬군 평균인발 시간 137초의 64%로 나타났다. 관입시간 및 인발시간은 판넬 단부의 두께 변화와 조립식 판넬의 보강된 연결부, 단부 보강판 부착, 등으로 인한 단부 단면적의 변화에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
5. 아치형 판넬의 개당 총 시공 시간은 H-Pile이나 Sheet-Pile에 비하여 평균 21.2분 정도 시간이 더 걸리는 것으로 나타났으며, 시간 증가 요인은 해머 잡기 공정과 관입 공정에서 각각 12.6분, 3.4분정도씩 시간이 더 걸리는 것으로 나타났다. 이는 개별부재의 작업시간 면에서는 시간이 27.4분에서 48.6분으로 21.2분 정도 증가되었으나, 한 개의 아치형 판넬이 Sheet-Pile 5개를 대체하는 점을 고려하면, 순 작업시간만 135분에서 70.6분으로 64.4분이 빨라졌으며, Sheet-Pile의 작업 사이시간을 고려하면 작업효율은 3배정도 향상된 것으로 판명되었다.
6. 시험 시공 문제점 중 작업자의 숙련도 및 현장여건에 따라 총 작업시간의 변동이 큰 것으로 나타났으며 바이브로해머가 판넬을 잡는 공정에서 숙련도에 따라 작업시간의 변동이 큰 것으로 나타나 이를 개선하기 위한 훈련이 필요한 것으로 나타났다.
7. 본 연구에서는 연약지반에서의 관입 및 인발시험을 수행하였다. 2차년도 연구기간동안 추가적으로 연약지반에서의 최대 관입 깊이를 규명하고, N치 10~20인 조밀한 지반에서의 관입 및 인발성능 시험을 통하여 본 공법의 사용 가능조건 및 설계 시공 지침을 제공할 계획이며, 또한 굴착시험을 실시하여 토공작업 중 발생하는 문제점을 해결하고자 한다.

## 7. 참고 문헌

- 1) 건설교통부, “도로교 표준시방서”, 2005.
- 2) 김형원, “말뚝기초의 설계, 시공 노하우” 1994
- 3) 남기천, 김유성 외 3명, “토목시공학” 2009
- 4) 대한토목학회, “도로교설계기준 해설”, 2008.
- 5) 대한토목학회, “도로교설계기준 (한계상대설계법)”, 2012
- 6) 오정환, 조철현, “흙막이 공학” 2004
- 7) 참술 ENG, “실무 흙막이 기초공법” 2003
- 8) 한국지반공학회, “연약지반” 2005
- 9) 한국지반공학회, “굴착 및 흙막이 공법”, 2006
- 10) James M. Gere, "재료역학“, 7판
- 11) William T. Segu, "강구조 공학“ 4판
- 13) Ulrich Smolczyk, “Geotechnical Engineering Handbook”, 2003년
- 19) 박성재, 정두희, 정경환, 이경준 “연약지반의 흙막이 공사 사례Ⅲ” 대한토목학회 1994년도 학술발표회 논문집, pp.325 1994년
- 10) 박영목, 정연인 “연약지반 흙막이벽에 작용하는 토압 및 변위에 관한 연구” 구조물진단학회논문집, Vol.7 No.3 pp. 215~222 2003년
- 9) 서동희, 장범수, 정상성 “모형실험을 통한 사질토 지반에서의 굴착단계별 흙막이벽의 거동분석” 한국지반공학회 논문집, Vol.15 No.3 pp. 113~129 1999년
- 17) 심재욱, 유진오, 백성권 “저심도 지반굴착시 djrwlfENr을 이용한 자립식 흙막이 공법의 개발” 대한토목학회 2006년도 정시 학술대회 논문집, pp.804 2006년
- 16) 양희정, 신동현, 이석진, 이준호 “해안에 인접한 대심도 굴착시 흙막이 가시설 사고 발생 원인 분석 및 복구 사례” 대한토목학회 2008년도 정시 학술대회 논문집, pp.2176 2008년
- 12) 이규원, 노민내 “부재력 근사해법을 이용한 아치구조물의 형상최적화에 관한 연구” 대한토목학회 논문집, Vol.13 No.2 pp. 95~109 1993년
- 7) 이봉열, 김학문, “굴착모형실험을 통한 토류벽체 및 지반거동에 관한 연구” 한국지반공학회 논문집, Vol.15 No.5 pp. 259~279 1999년
- 8) 이송, 김성구, “흙막이벽체의 변형해석에 관한 연구” 한국지반공학회 논문집, Vol.24 No.2 pp. 27~36 2008년
- 11) 한상훈, 변근주 “아치구조의 형상 최적화” 대한토목학회 논문집, Vol.4 No.4 pp. 127~135 1984년
- 14) 홍원표, 김동욱, 송영석 “연약지반에 설치되는 복합지지 강널 말뚝 흙막이벽의 거동” 대한토목학회 논문집, Vol.24 pp.317 2004년
- 15) 홍원표, 김동욱, 송영석 “연약지반에 설치된 버팀보지지 강널 말뚝 흙막이벽의 거동” 대한토목학회 논문집, Vol.24 pp.183 2004년
- 18) 홍원표, 윤종만, 김동욱, 신도순 “연약 점성토지반에 설치된 강널말뚝 흙막이벽의 측방토압과 수평변위” 대한토목학회 1999년도 학술발표회 논문집, pp.119 1999년
- 20) Bao Chun Chen Lin Ye, "An Overview Of Long Span Concrete Arch Bridge In China" Chinese-Croatian Joint Colloquim, Construction of Arch Bridge, pp 163~170

## 8. 부록

A1 : 아치형 판넬 제작도

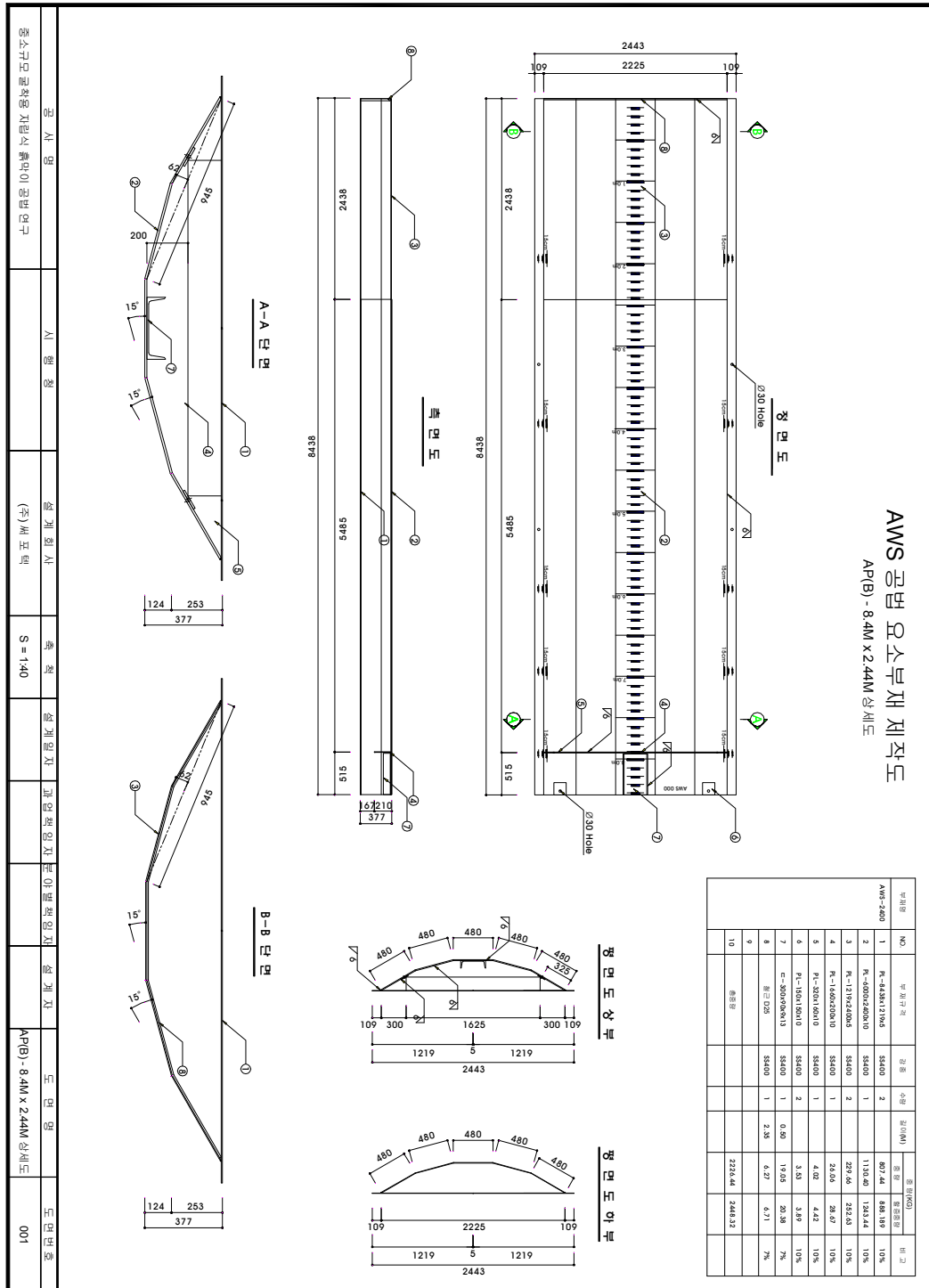
A2 : 물량표

A3 : EXCAV Output

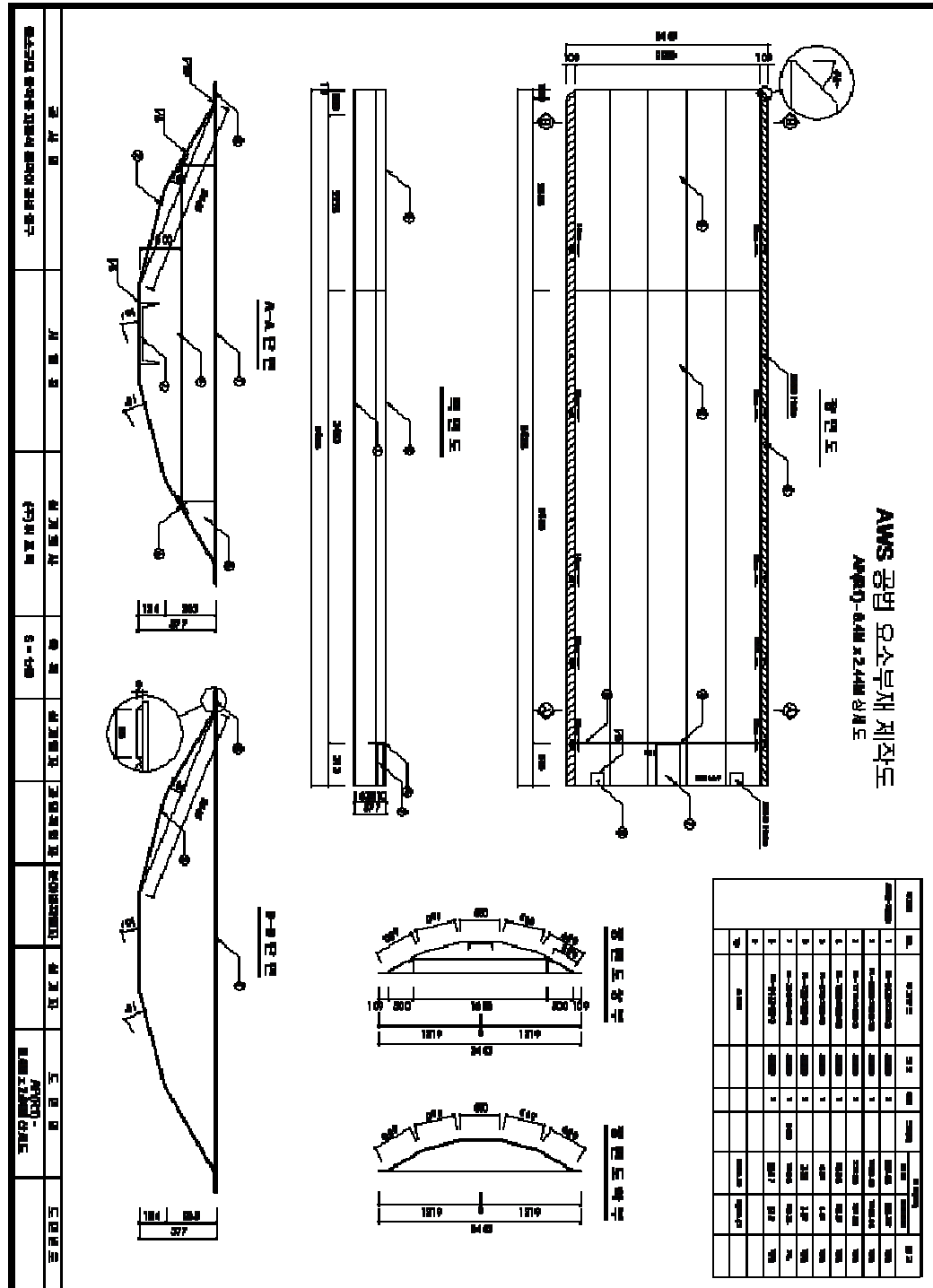
A4 : 계측데이터

A5 : 시공 단계별 사진

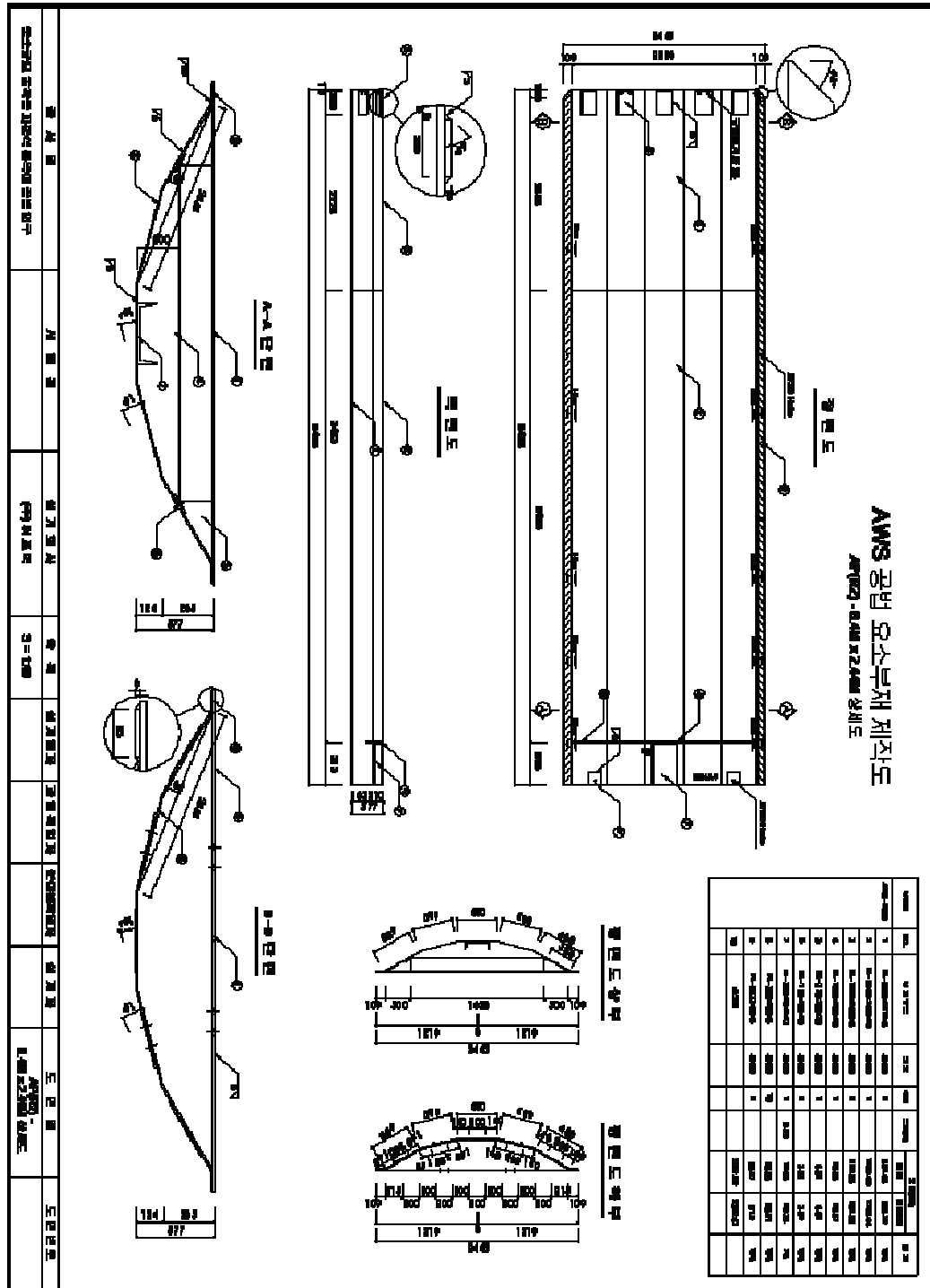
A1. 아치형 판넬 제작도  
- B(기본형)

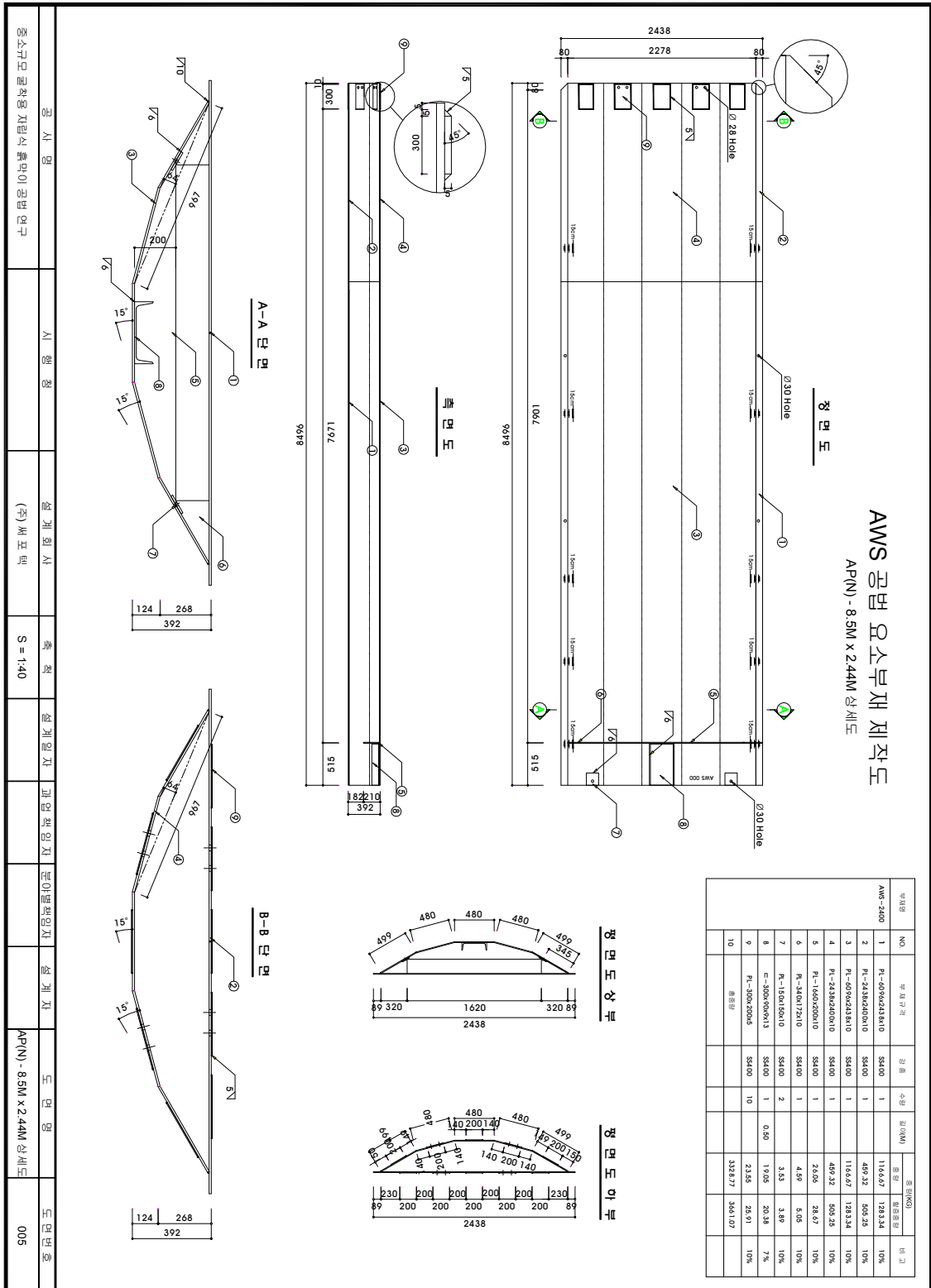


- R1

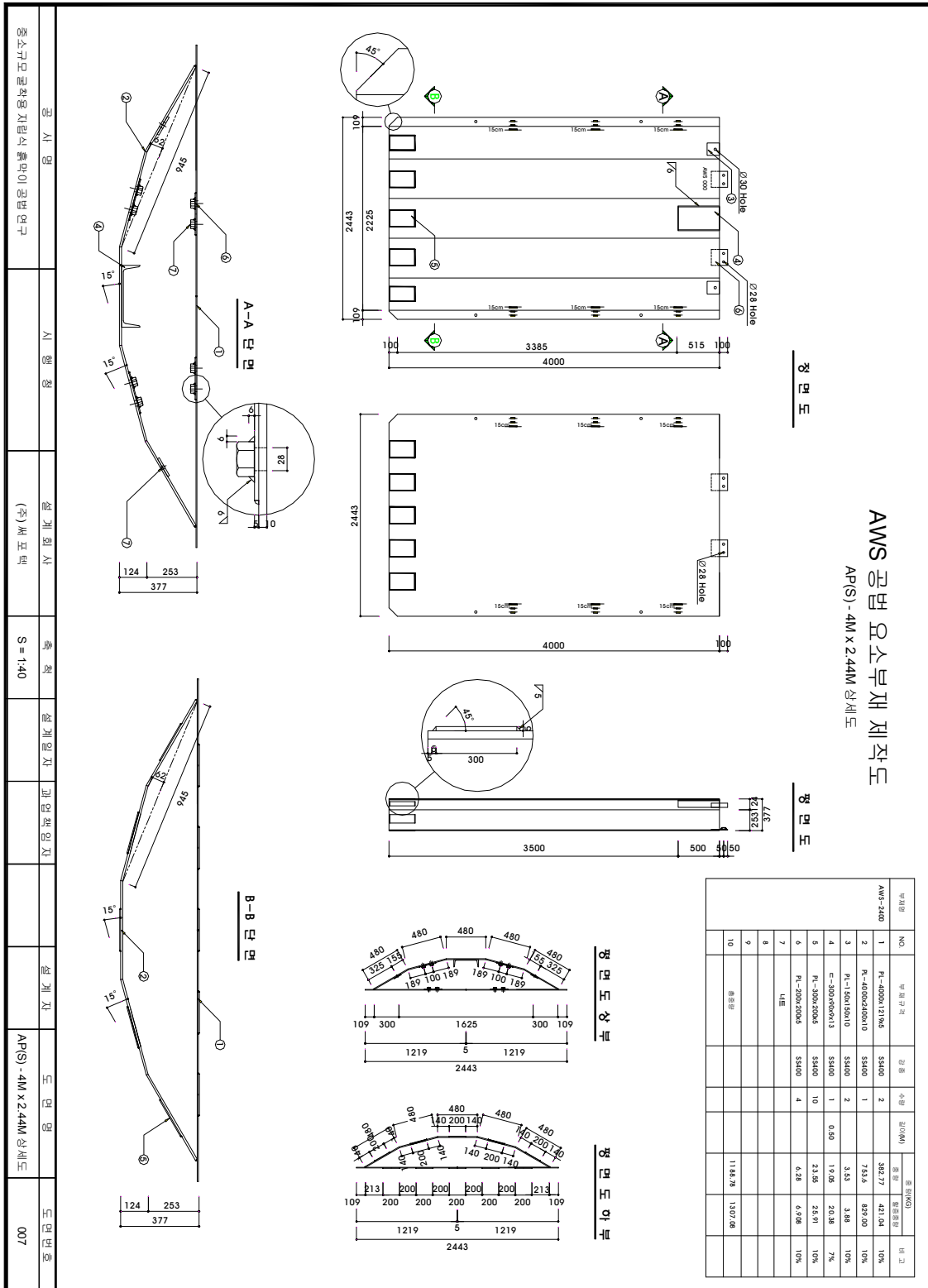


- R2





- S



- RPT

# AWS 공법 요소부재 제작도

## 보강판 상세도

| 부위명 | NO | 부위 규격         | 단면    | 수량 | 단면적     | 중량(KG)   |       |
|-----|----|---------------|-------|----|---------|----------|-------|
|     |    |               |       |    |         | 중량       | 중량비율  |
| 보강판 | 1  | PL-600x182x10 | 50400 | 2  | 1750.48 | 17524.53 | 10%   |
|     | 2  | C-300x90x13   | 50400 | 1  | 0.6     | 17.95    | 20.3% |
| 총중량 |    |               |       |    | 1752.53 | 17442.97 | 7%    |

정면도

평면도

플랜지

1번 부품도

2번 부품도

|       |       |
|-------|-------|
| 1. 厚さ | 250mm |
| 2. 寸法 | 15mm  |
| 3. 寸法 | 5mm   |

공 사 명 : 시 원 장 : 설 계 화 사 : (주) 씨 포 텍 : 축 적 : 설 계 일 자 : 과 업 책 일 자 : 설 계 자 : 도 면 명 : 도면 번호 : 013

## A2. 물량표

## 1) 아치형 판넬 1개소 물량표

표 A2.1 아치형 판넬 1개소 물량표

| No  | 부재규격            | 강종    | 수량<br>(ea) | 길이<br>(mm) | 중량(kg)  |         | 할증률 |
|-----|-----------------|-------|------------|------------|---------|---------|-----|
|     |                 |       |            |            | 중량      | 할증중량    |     |
| 1   | PL-6000×2400×10 | SS400 | 1          |            | 1130.40 | 1219.53 | 7%  |
| 2   | PL-8438×1219×5  | SS400 | 2          |            | 807.44  | 863.97  | 7%  |
| 3   | PL-1660×200×10  | SS400 | 1          |            | 18.28   | 19.56   | 7%  |
| 4   | PL-1219×2400×10 | SS400 | 2          |            | 229.66  | 245.74  | 7%  |
| 5   | PL-300×90×9×13  | SS400 | 1          | 500        | 19.05   | 20.38   | 7%  |
| 6   | PL-320×160×10   | SS400 | 1          |            | 8.06    | 8.60    | 7%  |
| 7   | 철근 D25          | SS400 | 1          | 2,350      | 6.27    | 6.71    | 7%  |
| 8   | PL-150×150×10   | SS400 | 2          |            | 3.35    | 3.78    | 7%  |
| 총중량 |                 |       |            |            | 2222.51 | 2378.27 |     |
| 9   | 용접길이            |       |            | 34,000     |         |         |     |

### A3. EXCAV Output

|                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------|
| ■Project Name : 호남고철 아치형관널 교각기시설                                             |
| ■ Calculator : SUPORTEC ENGINEERING CO., LTD. BY "EXCAV/W VER. 3.00" PROGRAM |

```
*****
*
*          지 하 굴 착   흙 막 이 공   설 계          *
*          Program Name : "EXCAV/W"                  *
*          A Registered Number : 92-01-12-1799         *
*          Window Version 3.00                        *
*
*   Programmed by Jung-Hwan Oh PE. Soil & Foundation  *
*   Design & Product by (주) 한국지오컨설팅트 기술연구소 *
*   Copyright @ Korean Geo-Consultants Co., Ltd.      *
*   (Tel.3463-2114, Fax.3463-3900)                    *
*
*****
```

## PROGRAM의 기본가정 및 설계순서

=====

본 "EXCAV" Program은 흙막이 공사에서의 토류벽 전용 설계용으로 시공 단계별 순해석(Normal Procedure Analysis)뿐만 아니라 계측Data에 의한 역해석(Back Procedure Analysis)도 가능하며, 사용자의 Option에 따라 해석 Modeling을 관용법, 탄성법 및 탄소성법이 가능하도록 되어 있는데, 토압해석에 탄소성 이론을 이용하기 위한 기본가정과 설계순서를 보면 다음과 같다.

## 1) 기 본 가 정

0. 토류벽의 근입은 유한장으로 하고 근입선단은 지질상태에 따라 고정, 힌지 및 자유단중 하나로 한다.
0. 배면토압 및 굴착측의 유효수동토압은 굴착에 의한 토질조건에 대처할 수 있도록 굴착단계별로 고려한다.
0. 토류벽에 접한 토질은 탄성지층의 경계조건인 Spring값으로 환산하며, 굴착면 이하에서 토류벽에 작용하는 저항토압은 토류벽의 변위에 1차적으로 비례하고 유효수동토압을 넘지 않는 것으로 한다.
0. 버팀대의 경계조건은 Spring값, Prestress반력 및 우력모멘트등을 고려하며, Prestress의 손실량은 토류벽의 변위와 Relaxation에 의한 감소량을 고려한다.
0. 각 굴착단계별 해석에 있어서 사용자의 Option에 따라 이미 발생된 지중선행변위를 고려한다.
0. 굴착종료후 지하구조물 시공시 버팀보 해체단계 및 지하구조물의 해석도 가능하다.

## I. 토 류 벽 의 근 입 심 도 검 토

=====

토류벽의 근입깊이는 다음 조건에 대하여 검토하여 결정한다.

- 근입부에 작용하는 수동토압과 수동토압에 대한 안정
- 연약한 점성토 지반에서의 Heaving 현상에 대한 안정
- 지수토류벽등을 사용하는 경우로 모래지반에서의 Boiling 현상에 대한 안정

또한, 토류벽의 근입심도 검토는 최종굴착의 경우와 최종굴착 전단계 경우에 한하여 실시하며, 수동측에서 발휘되는 전수동토압을 자유단지지방법(free earth support method)인 경우에는 2.0이상의 안전율을 적용하며 고정단지지방법(fixed earth support method)인 경우에는 수동토압에 대하여 안전율을 적용시키지 않았다.

I-1. 최종 굴착 경우

1) 토압 계산 : By method of Rankin - Resal

\* 주동 토압 계산

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

$$P_a = (q + R_t \cdot h) \cdot K_a - 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_a}$$

q : 상재하중 (= 1.2 t/m<sup>2</sup>)

| NO. | EL.<br>(m) | C(t/m <sup>2</sup> ) |     | K <sub>a</sub> |       | 수압<br>(t/m <sup>2</sup> ) | 토압(t/m <sup>2</sup> ) |       | 계 (t/m <sup>2</sup> ) |       |
|-----|------------|----------------------|-----|----------------|-------|---------------------------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
|     |            | (1)                  | (2) | (1)            | (2)   |                           | (1)                   | (2)   | Pa1                   | Pa2   |
|     |            |                      |     |                |       |                           |                       |       | h= 0.50 Rt= 1.74      |       |
| 1   | -0.500     | 2.0                  | 2.0 | 1.000          | 1.000 | 0.000                     | 0.000                 | 0.000 | 0.000                 | 0.000 |
|     |            |                      |     |                |       |                           |                       |       | h= 0.50 Rt= 1.74      |       |
| 2   | -1.000     | 2.0                  | 2.0 | 1.000          | 1.000 | 0.000                     | 0.000                 | 0.000 | 0.000                 | 0.000 |
|     |            |                      |     |                |       |                           |                       |       | h= 3.00 Rt= 0.74      |       |
| 3   | -4.000     | 2.0                  | 2.0 | 1.000          | 1.000 | 3.000                     | 1.160                 | 1.160 | 4.160                 | 4.160 |
|     |            |                      |     |                |       |                           |                       |       | h= 4.00 Rt= 0.74      |       |
| 4   | -8.000     | 2.0                  | 0.0 | 1.000          | 0.000 | 3.000                     | 4.120                 | 0.000 | 7.120                 | 3.000 |

\* 수동 토압 계산

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2)$$

$$P_p = R_t \cdot h \cdot K_p + 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_p}$$

| NO. | EL.<br>(m) | C(t/m <sup>2</sup> ) |     | K <sub>p</sub> |       | 수압<br>(t/m <sup>2</sup> ) | 토압(t/m <sup>2</sup> ) |       | 계 (t/m <sup>2</sup> ) |       |
|-----|------------|----------------------|-----|----------------|-------|---------------------------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
|     |            | (1)                  | (2) | (1)            | (2)   |                           | (1)                   | (2)   | Pp1                   | Pp2   |
|     |            |                      |     |                |       |                           |                       |       | h= 4.00 Rt= 0.74      |       |
| 1   | -4.000     | 0.0                  | 2.0 | 0.000          | 1.000 | 0.000                     | 0.000                 | 4.000 | 0.000                 | 4.000 |
|     |            |                      |     |                |       |                           |                       |       | h= 4.00 Rt= 0.74      |       |
| 2   | -8.000     | 2.0                  | 0.0 | 1.000          | 0.000 | 4.000                     | 6.960                 | 0.000 | 10.960                | 0.000 |

2) 근입심검토 : d = 4.00 m 일 때

\* 토압의 작용 폭

- 주동측 굴착면 상부 = 1.00 m , 굴착면 하부 = 1.00 m
- 수동측 = 1.00 m

\* ○ 점에서의 휨모멘트 계산 (EL. -0.500 M)

- 주동 토압에 의한 모멘트

$$1. (0.000 + 4.160) \times 0.5 \times 3.000 \times 2.500 \times 1.0 = 15.599 \text{ tf-m}$$

$$2. (4.160 + 7.120) \times 0.5 \times 4.000 \times 5.675 \times 1.0 = 128.022 \text{ tf-m}$$

$$\text{Total moment (Ma)} = 143.622 \text{ tf-m}$$

## - 수 동 토 압 에 의 한 모 멘 트

$$1. (4.000 + 10.960) \times 0.5 \times 4.000 \times 5.810 \times 1.0 = 173.842 \text{ tf-m}$$

$$\text{Total moment (Mp)} = 173.842 \text{ tf-m}$$

## - 근 입 부 의 안 전 륜

$$\begin{aligned} S.F = M_p / M_a &= 173.842 / 143.622 \\ &= 1.210 > 1.20 \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

## I-2. 히빙(Heaving)에 대한 근입길이의 검토

근입부분의 토층이 점토지반이므로 굴착배면토의 중량 및 지표의 재하중이 굴착 저면 이하의 지지력보다도 클 경우 생기는 히빙(Heaving) 현상에 대해 검토하여야 하는데 검토 방법에는 Terzaghi-Peck, Tschebotarioff, Bjerrum, O.Eide. 및 W.D.Finn의 계산법등 다양하지만 이들 검토방법은 활동면 흙의 전단저항, 굴착하면 이하 지반의 지지력 혹은 Moment의 균형등에서 검토를 하는 것으로 토류벽의 강성과 근입길이가 무시되어 있다.

그러나, 대형단면 토류벽 사용이 일반화된 현상에서는 히빙에 저항되는 토류벽의 강성과 근입길이를 무시할 수 없으므로 여기서는 토류벽의 강성과 근입길이를 고려한 방법으로 히빙을 검토하고자 하며 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_s &= M_r / M_d \\ M_r &= (C' \cdot C_1 \cdot X) + (C'' \cdot H'' \cdot X) \\ M_d &= (R \cdot H + Q) \cdot X \cdot X / 2 \end{aligned}$$

여기서,  $F_s$  : 안전율

$C'$  : 굴착저면에서 하부 흙의 점착력( $t/m^2$ )

$C_1$  : 굴착저면에서 원호 활동면의 길이(m)

$X$  : 굴착면에서 상재하중의 작용 폭(m)

$C''$  : 굴착면에서 상부 흙의 점착력( $t/m^2$ )

$H''$  : 굴착면에서 상부 활동 저항길이(m)

$R$  : 흙의 단위중량( $t/m^3$ )

$H$  : 굴착깊이(m)

$Q$  : 지표의 과재하중( $t/m^2$ )

안전율( $F_s$ )을 최소로 하는  $X$ 를 구하고, 이것을 가능 활동깊이( $X_0$ )라 부르며  $X_0$ 가 가상지지점보다 얇을 경우, 또는  $X_0$ 의 깊이에서의 안전율  $F_s$ 가 허용안전율보다 클 경우에는 히빙에 대해서 안전하다고 본다.

## - 근 입 부 의 안 전 륜

$$\begin{aligned} S.F = M_r / M_d &= 132.531 / 65.280 \\ &= 2.030 > 1.20 \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

II. 각 굴착 단계별 각 절점의 변위, 전단력, 모멘트 및 반력 집계표

(\* 여기서 출력되는 값은 1.0m 단위폭당 값임.)

1) 각 절점의 토압 집계표(단위: t/m<sup>2</sup>/M)

| 절점<br>번호 | EL.<br>(m) | 굴착 단계 번호 및 굴착 EL.(m) |            |      |
|----------|------------|----------------------|------------|------|
|          |            | 1<br>-1.00           | 2<br>-4.00 | MAX. |
| 1        | 0.000      | 0.99                 | 1.07       | 1.07 |
|          | -0.500     | 1.72                 | 1.48       | 1.72 |
| 2        | -0.500     | 1.72                 | 1.48       | 1.72 |
|          | -1.000     | 1.57                 | 0.45       | 1.57 |
| 3        | -1.000     | 1.57                 | 0.45       | 0.45 |
|          | -1.750     | 0.99                 | 0.75       | 0.75 |
| 4        | -1.750     | 0.99                 | 0.75       | 0.75 |
|          | -2.500     | 0.81                 | 1.55       | 1.55 |
| 5        | -2.500     | 0.81                 | 1.55       | 1.55 |
|          | -3.250     | 1.19                 | 2.85       | 2.85 |
| 6        | -3.250     | 1.19                 | 2.85       | 2.85 |
|          | -4.000     | 1.94                 | 4.16       | 4.16 |
| 7        | -4.000     | 0.00                 | 1.16       | 1.16 |
|          | -4.800     | 0.00                 | 1.96       | 1.96 |
| 8        | -4.800     | 0.00                 | 1.96       | 1.96 |
|          | -5.600     | 0.00                 | 2.76       | 2.76 |
| 9        | -5.600     | 0.00                 | 2.76       | 2.76 |
|          | -6.400     | 0.00                 | 3.56       | 3.56 |
| 10       | -6.400     | 0.00                 | 3.56       | 3.56 |
|          | -7.200     | 0.00                 | 4.36       | 4.36 |
| 11       | -7.200     | 0.00                 | 4.36       | 4.36 |
|          | -8.000     | 0.00                 | 5.16       | 5.16 |
| MAX.     |            | 1.94                 | 5.16       | 5.16 |

2) 각 절점의 변위 집계표(단위:mm/M)

| 절점<br>번호 | EL.<br>(m) | 굴착 단계 번호 및 굴착 EL.(m) |            |      |
|----------|------------|----------------------|------------|------|
|          |            | 1<br>-1.00           | 2<br>-4.00 | MAX. |
| 1        | 0.000      | 0.17                 | 0.10       | 0.17 |
| 2        | -0.500     | 0.13                 | 0.38       | 0.38 |
| 3        | -1.000     | 0.10                 | 1.01       | 1.01 |
| 4        | -1.750     | 0.06                 | 1.81       | 1.81 |
| 5        | -2.500     | 0.03                 | 2.21       | 2.21 |
| 6        | -3.250     | 0.01                 | 2.11       | 2.11 |
| 7        | -4.000     | 0.10                 | 1.70       | 1.70 |
| 8        | -4.800     | 0.10                 | 1.06       | 1.06 |
| 9        | -5.600     | 0.10                 | 0.53       | 0.53 |
| 10       | -6.400     | 0.10                 | 0.17       | 0.17 |
| 11       | -7.200     | 0.10                 | 0.10       | 0.10 |
| 12       | -8.000     | 0.00                 | 0.10       | 0.00 |
| MAX.     |            | 0.17                 | 2.21       | 2.21 |

3) 각 절점의 전단력 집계표(단위:tf/M)

| 절점<br>번호 | EL.<br>(m) | 굴착 단계 번호 및 굴착 EL.(m) |            |       |
|----------|------------|----------------------|------------|-------|
|          |            | 1<br>-1.00           | 2<br>-4.00 | MAX.  |
| 1        | 0.000      | 0.00                 | 0.00       | 0.00  |
|          | -0.500     | 0.68                 | 0.64       | 0.68  |
| 2        | -0.500     | 0.72                 | 2.13       | 2.13  |
|          | -1.000     | 0.11                 | -1.65      | -1.65 |
| 3        | -1.000     | -0.03                | 1.65       | 1.65  |
|          | -1.750     | 0.07                 | -1.20      | -1.20 |
| 4        | -1.750     | -0.01                | 1.20       | 1.20  |
|          | -2.500     | 0.01                 | -0.34      | -0.34 |
| 5        | -2.500     | 0.01                 | 0.34       | 0.34  |
|          | -3.250     | -0.01                | 1.32       | 1.32  |
| 6        | -3.250     | 0.02                 | -1.32      | -1.32 |
|          | -4.000     | -0.02                | 3.95       | 3.95  |
| 7        | -4.000     | 0.02                 | -1.05      | -1.05 |
|          | -4.800     | -0.02                | 1.05       | 1.05  |
| 8        | -4.800     | 0.01                 | -0.12      | -0.12 |
|          | -5.600     | -0.01                | 0.12       | 0.12  |
| 9        | -5.600     | 0.01                 | 0.30       | 0.30  |
|          | -6.400     | -0.01                | -0.30      | -0.30 |
| 10       | -6.400     | 0.00                 | 0.37       | 0.37  |
|          | -7.200     | 0.00                 | -0.37      | -0.37 |
| 11       | -7.200     | 0.00                 | 0.19       | 0.19  |
|          | -8.000     | 0.00                 | -0.19      | -0.19 |
| MAX.     |            | 0.72                 | 3.95       | 3.95  |

4) 각 절점의 모멘트 집계표(단위:tf-m/M)

| 절점<br>번호 | EL.<br>(m) | 굴착 단계 번호 및 굴착 EL.(m) |            |       |
|----------|------------|----------------------|------------|-------|
|          |            | 1<br>-1.00           | 2<br>-4.00 | MAX.  |
| 1        | 0.000      | 0.00                 | 0.00       | 0.00  |
| 2        | -0.500     | 0.15                 | 0.15       | 0.15  |
| 3        | -1.000     | 0.00                 | -0.77      | -0.77 |
| 4        | -1.750     | 0.05                 | -1.85      | -1.85 |
| 5        | -2.500     | 0.05                 | -2.47      | -2.47 |
| 6        | -3.250     | 0.04                 | -2.16      | -2.16 |
| 7        | -4.000     | 0.03                 | -0.25      | -0.25 |
| 8        | -4.800     | 0.01                 | 0.59       | 0.59  |
| 9        | -5.600     | 0.00                 | 0.69       | 0.69  |
| 10       | -6.400     | 0.00                 | 0.44       | 0.44  |
| 11       | -7.200     | 0.00                 | 0.15       | 0.15  |
| 12       | -8.000     | 0.00                 | 0.00       | 0.00  |
| MAX.     |            | 0.15                 | 2.47       | 2.47  |

5) 각 버팀대 지점의 반력 집계표(단위:tf/M)

| 절점<br>번호 | EL.<br>(m) | 굴착 단계 번호 및 굴착 EL.(m) |            |       |
|----------|------------|----------------------|------------|-------|
|          |            | 1<br>-1.00           | 2<br>-4.00 | MAX.  |
| 2        | -0.500     | -1.39                | -2.76      | -2.76 |
| MAX.     |            | -1.39                | -2.76      | -2.76 |

## III. 굴착 주변의 지반침하 예측

=====

굴착의 시공계획에 있어서는 굴착에 따른 주변지반의 변형을 추정하고 인접 건물에 대한 영향에 대하여 검토 하여야 하는데, 침하 추정 방법은 무수히 많으며 주장하는 학자에 따라서도 상당한 차이가 있다.

여기서는 Caspe의 방법(1966)에 의하여 다음과 같은 단계로 구하였다.

- . 횡방향 벽의 처짐을 구한다.
- . 처짐의 체적 Vs를 구한다.(평균단면적법 또는 Simpson의 제1공식 사용)
- . 지반침하 영향거리(균열거리) D를 계산한다.
- . 벽면에서의 지표면 침하 Sw를 계산한다.
- . D로부터 벽까지 Si의 포물선 변화를 가정하여 잔존침하를 계산한다.
- . 해체검토시, 콘크리트 벽체 및 슬래브가 시공된 구간은 콘크리트벽체 및 슬래브 시공전 단계까지의 최대변위를 최대값으로 적용한다.

## 1) 토류벽의 횡방향 변위량

| 절 점<br>번 호 | Elevation<br>(m) | 변 위 량<br>(cm) | 절 점<br>번 호 | Elevation<br>(m) | 변 위 량<br>(cm) |
|------------|------------------|---------------|------------|------------------|---------------|
| 1          | 0.000            | 0.01674       | 2          | -0.500           | 0.03768       |
| 3          | -1.000           | 0.10116       | 4          | -1.750           | 0.18080       |
| 5          | -2.500           | 0.22149       | 6          | -3.250           | 0.21133       |
| 7          | -4.000           | 0.16994       | 8          | -4.800           | 0.10558       |
| 9          | -5.600           | 0.05316       | 10         | -6.400           | 0.01685       |
| 11         | -7.200           | 0.01000       |            |                  |               |

## 2) 전체 수평변위로 인한 체적변화 (Vs)

$$V_s = 0.00827 \text{ m}^3/\text{m}$$

## 3) 굴 착 폭 (B) 및 굴 착 심 도 (Hw)

$$B = 12.0 \text{ m} , \quad H_w = 4.0 \text{ m}$$

## 4) 굴 착 거 리 (Ht)

$$\begin{aligned} \text{평균 내부마찰각 } \phi &= 0.00 \text{ 도} \\ H_p &= 0.5 \times B \times \tan ( 45 + \phi/2 ) \\ &= 0.5 \times 12.0 \times \tan ( 45 + 0.00 / 2 ) = 6.00 \text{ m} \\ H_t &= H_p + H_w = 6.00 \text{ m} + 4.00 \text{ m} = 10.00 \text{ m} \end{aligned}$$

## 5) 침하영향 거리 (D)

$$\begin{aligned} D &= H_t \times \tan ( 45 - \phi/2 ) \\ &= 10.00 \text{ m} \times \tan ( 45 - 0.00 / 2 ) = 10.00 \text{ m} \end{aligned}$$

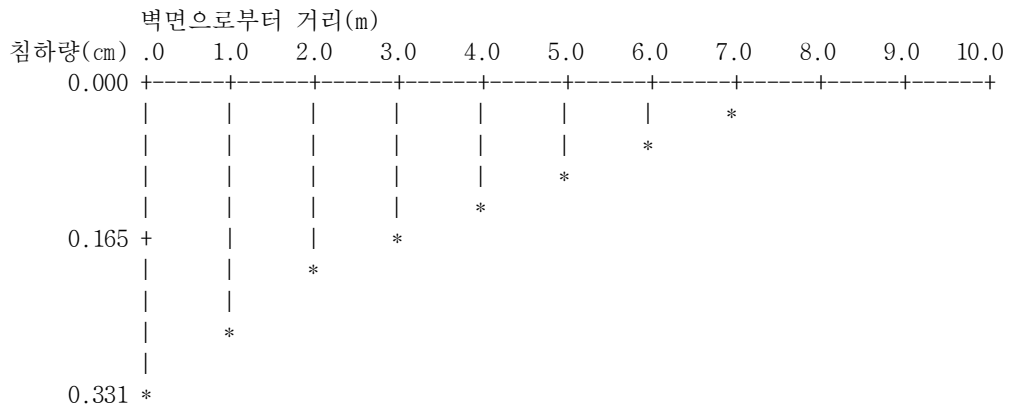
## 6) 흙막이벽 주변 최대침하량 (Sw)

$$\begin{aligned} S_w &= 4 \times V_s / D = 4 \times 0.00827 / 10.00 \\ &= 0.003307 \text{ m} = 0.331 \text{ cm} \end{aligned}$$

7) 거리별 침하량 (Si) 및 절점간 침하구배

$$Si = Sw \times ((D - Xi)/D)^2 = 0.331 \times ((10.00 - Xi)/10.00)^2$$

| 절점<br>NO. | 거 리<br>Xi(m) | 침 하 량<br>Si(cm) | 절점간 부등침하<br>부등침하량 | 구 배    | 절점<br>NO. | 거 리<br>Xi(m) | 침 하 량<br>Si(cm) | 절점간 부등침하<br>부등침하량 | 구 배    |
|-----------|--------------|-----------------|-------------------|--------|-----------|--------------|-----------------|-------------------|--------|
| 1         | 0.000        | 0.33066         | 0.000             | 1/ 0   | 2         | 1.000        | 0.26783         | 0.063             | 1/1592 |
| 3         | 2.000        | 0.21162         | 0.056             | 1/1779 | 4         | 3.000        | 0.16202         | 0.050             | 1/2016 |
| 5         | 4.000        | 0.11904         | 0.043             | 1/2326 | 6         | 5.000        | 0.08266         | 0.036             | 1/2749 |
| 7         | 6.000        | 0.05291         | 0.030             | 1/3360 | 8         | 7.000        | 0.02976         | 0.023             | 1/4320 |
| 9         | 8.000        | 0.01323         | 0.017             | 1/6049 | 10        | 9.000        | 0.00331         | 0.010             | 1/9999 |
| 11        | 10.000       | 0.00000         | 0.003             | 1/9999 |           |              |                 |                   |        |



## A4. 계측 데이터

아치형 판넬(B)

|      |       |      |       |      |      |
|------|-------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |       | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | AP(B) | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |    |     |     |     |     |
|--------|-----------|----|-----|-----|-----|-----|
|        | 1차        |    | 2차  |     | 3차  |     |
|        | 관입        | 인발 | 관입  | 인발  | 관입  | 인발  |
| 25     | 11        | 0  | 33  | 0   | 23  | 0   |
| 50     | 27        | 16 | 54  | 19  | 40  | 12  |
| 75     | 41        | 18 | 67  | 26  | 58  | 16  |
| 100    | 54        | 19 | 87  | 31  | 76  | 18  |
| 125    | 72        | 21 | 101 | 36  | 95  | 22  |
| 150    | 90        | 24 | 131 | 40  | 120 | 26  |
| 175    | 110       | 28 | 150 | 43  | 138 | 30  |
| 200    | 122       | 32 | 164 | 46  | 150 | 34  |
| 225    | 136       | 36 | 180 | 50  | 169 | 38  |
| 250    | 151       | 41 | 194 | 53  | 182 | 41  |
| 275    | 167       | 44 | 211 | 57  | 203 | 45  |
| 300    | 182       | 46 | 226 | 59  | 220 | 49  |
| 325    | 196       | 48 | 242 | 61  | 246 | 52  |
| 350    | 212       | 49 | 256 | 64  | 263 | 56  |
| 375    | 228       | 50 | 272 | 67  | 281 | 60  |
| 400    | 243       | 52 | 287 | 71  | 298 | 65  |
| 425    | 258       | 53 | 303 | 75  | 318 | 69  |
| 450    | 274       | 55 | 320 | 79  | 330 | 72  |
| 475    | 291       | 57 | 337 | 83  | 346 | 76  |
| 500    | 306       | 60 | 353 | 87  | 360 | 80  |
| 525    | 322       | 62 | 370 | 91  | 382 | 83  |
| 550    | 338       | 64 | 388 | 94  | 397 | 86  |
| 575    | 353       | 66 | 407 | 97  | 410 | 89  |
| 600    | 372       | 68 | 427 | 100 | 432 | 92  |
| 625    | 390       | 70 | 446 | 103 | 452 | 95  |
| 650    | 407       | 72 | 460 | 106 | 471 | 99  |
| 675    | 421       | 74 | 478 | 109 | 493 | 102 |
| 700    | 437       | 76 | 495 | 113 | 514 | 105 |
| 725    | 452       | 78 | 513 | 117 | 530 | 108 |
| 750    | 470       | 80 | 531 | 120 | 546 | 112 |
| 775    | 569       | 82 | 547 | 123 | 553 | 115 |
| 800    |           |    |     |     |     |     |

아치형 판넬(R1)

|      |        |      |       |      |      |
|------|--------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |        | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | AP(R1) | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |     |     |
|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | 1차        |     | 2차  |     | 3차  |     |
|        | 관입        | 인발  | 관입  | 인발  | 관입  | 인발  |
| 25     | 7         | 0   | 5   | 0   | 6   | 0   |
| 50     | 58        | 2   | 9   | 27  | 15  | 14  |
| 75     | 100       | 26  | 32  | 36  | 31  | 22  |
| 100    | 167       | 45  | 51  | 41  | 53  | 30  |
| 125    | 182       | 60  | 67  | 44  | 79  | 38  |
| 150    | 246       | 71  | 79  | 48  | 106 | 46  |
| 175    | 275       | 80  | 92  | 51  | 132 | 54  |
| 200    | 310       | 88  | 108 | 54  | 156 | 57  |
| 225    | 346       | 96  | 124 | 57  | 183 | 60  |
| 250    | 363       | 104 | 142 | 60  | 204 | 64  |
| 275    | 400       | 112 | 154 | 63  | 220 | 67  |
| 300    | 416       | 121 | 201 | 65  | 236 | 70  |
| 325    | 432       | 127 | 217 | 67  | 251 | 74  |
| 350    | 452       | 134 | 231 | 69  | 275 | 78  |
| 375    | 474       | 140 | 245 | 71  | 293 | 82  |
| 400    | 494       | 145 | 259 | 73  | 310 | 85  |
| 425    | 514       | 150 | 275 | 75  | 322 | 88  |
| 450    | 533       | 155 | 291 | 77  | 340 | 91  |
| 475    | 555       | 160 | 307 | 79  | 358 | 94  |
| 500    | 577       | 164 | 324 | 81  | 379 | 97  |
| 525    | 597       | 168 | 342 | 83  | 394 | 100 |
| 550    | 618       | 172 | 359 | 85  | 422 | 102 |
| 575    | 642       | 175 | 374 | 87  | 447 | 104 |
| 600    | 662       | 178 | 390 | 89  | 461 | 106 |
| 625    | 678       | 181 | 406 | 92  | 487 | 108 |
| 650    | 696       | 185 | 423 | 95  | 503 | 110 |
| 675    | 717       | 188 | 439 | 97  | 523 | 112 |
| 700    | 738       | 191 | 456 | 99  | 546 | 114 |
| 725    | 781       | 197 | 474 | 101 | 564 | 116 |
| 750    | 828       | 200 | 494 | 103 | 581 | 117 |
| 775    | 879       | 202 | 516 | 104 | 592 | 118 |
| 800    |           |     |     |     |     |     |

아치형 판넬(R2)

|      |        |      |       |      |      |
|------|--------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |        | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | AP(R2) | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |     |     |
|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | 1차        |     | 2차  |     | 3차  |     |
|        | 관입        | 인발  | 관입  | 인발  | 관입  | 인발  |
| 25     | 14        | 0   | 9   | 0   | 8   | 0   |
| 50     | 34        | 23  | 23  | 19  | 21  | 22  |
| 75     | 52        | 47  | 43  | 36  | 40  | 32  |
| 100    | 71        | 61  | 58  | 44  | 56  | 42  |
| 125    | 98        | 67  | 73  | 50  | 72  | 52  |
| 150    | 112       | 72  | 90  | 57  | 88  | 59  |
| 175    | 125       | 76  | 112 | 60  | 110 | 64  |
| 200    | 141       | 79  | 133 | 65  | 138 | 67  |
| 225    | 154       | 85  | 146 | 69  | 156 | 70  |
| 250    | 185       | 88  | 160 | 72  | 163 | 73  |
| 275    | 205       | 91  | 189 | 75  | 190 | 76  |
| 300    | 221       | 94  | 205 | 78  | 215 | 80  |
| 325    | 235       | 97  | 218 | 81  | 230 | 83  |
| 350    | 250       | 100 | 233 | 84  | 232 | 86  |
| 375    | 263       | 103 | 248 | 87  | 256 | 90  |
| 400    | 278       | 105 | 263 | 90  | 289 | 93  |
| 425    | 292       | 107 | 279 | 93  | 299 | 95  |
| 450    | 306       | 109 | 293 | 95  | 312 | 97  |
| 475    | 322       | 111 | 310 | 97  | 332 | 99  |
| 500    | 338       | 113 | 322 | 99  | 345 | 101 |
| 525    | 355       | 115 | 338 | 101 | 369 | 104 |
| 550    | 368       | 117 | 355 | 103 | 383 | 107 |
| 575    | 383       | 119 | 369 | 105 | 399 | 109 |
| 600    | 397       | 121 | 384 | 107 | 413 | 111 |
| 625    | 413       | 123 | 400 | 109 | 432 | 113 |
| 650    | 430       | 125 | 415 | 112 | 446 | 115 |
| 675    | 444       | 127 | 430 | 115 | 461 | 118 |
| 700    | 459       | 129 | 446 | 117 | 480 | 120 |
| 725    | 475       | 131 | 463 | 119 | 491 | 123 |
| 750    | 492       | 133 | 476 | 122 | 512 | 126 |
| 775    | 510       | 136 | 492 | 125 | 522 | 129 |
| 800    |           |     |     |     |     |     |

아치형 판넬(N)

|      |       |      |       |      |      |
|------|-------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |       | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | AP(N) | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |     |     |
|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | 1차        |     | 2차  |     | 3차  |     |
|        | 관입        | 인발  | 관입  | 인발  | 관입  | 인발  |
| 25     | 18        | 0   | 27  | 0   | 20  | 0   |
| 50     | 38        | 31  | 51  | 25  | 42  | 12  |
| 75     | 60        | 50  | 77  | 35  | 52  | 27  |
| 100    | 82        | 68  | 89  | 42  | 70  | 40  |
| 125    | 121       | 79  | 106 | 51  | 86  | 55  |
| 150    | 158       | 85  | 123 | 60  | 102 | 70  |
| 175    | 176       | 89  | 137 | 71  | 123 | 81  |
| 200    | 214       | 94  | 159 | 80  | 136 | 90  |
| 225    | 230       | 98  | 173 | 82  | 150 | 101 |
| 250    | 260       | 102 | 190 | 84  | 168 | 104 |
| 275    | 276       | 105 | 223 | 86  | 183 | 107 |
| 300    | 292       | 108 | 244 | 87  | 213 | 110 |
| 325    | 306       | 111 | 260 | 89  | 229 | 113 |
| 350    | 322       | 115 | 272 | 91  | 248 | 116 |
| 375    | 338       | 119 | 286 | 93  | 260 | 119 |
| 400    | 354       | 121 | 306 | 95  | 281 | 122 |
| 425    | 370       | 124 | 335 | 97  | 312 | 126 |
| 450    | 387       | 127 | 358 | 99  | 329 | 130 |
| 475    | 406       | 130 | 367 | 101 | 358 | 133 |
| 500    | 420       | 133 | 377 | 103 | 379 | 135 |
| 525    | 438       | 136 | 384 | 105 | 401 | 138 |
| 550    | 454       | 139 | 397 | 107 | 416 | 141 |
| 575    | 472       | 141 | 407 | 109 | 436 | 145 |
| 600    | 490       | 143 | 414 | 111 | 452 | 148 |
| 625    | 506       | 145 | 427 | 113 | 468 | 150 |
| 650    | 523       | 147 | 440 | 115 | 486 | 152 |
| 675    | 543       | 149 | 451 | 117 | 499 | 154 |
| 700    | 562       | 151 | 466 | 119 | 516 | 156 |
| 725    | 584       | 153 | 482 | 120 | 532 | 158 |
| 750    | 625       | 155 | 500 | 121 | 549 | 159 |
| 775    | 690       | 157 | 520 | 122 | 565 | 160 |
| 800    |           |     |     |     |     |     |

아치형 판넬(R2+S)

|      |          |      |       |      |      |
|------|----------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |          | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | AP(R2+S) | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |     |     |
|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | 1차        |     | 2차  |     | 3차  |     |
|        | 관입        | 인발  | 관입  | 인발  | 관입  | 인발  |
| 25     | 5         | 0   | 10  | 0   | 8   | 0   |
| 50     | 44        | 21  | 36  | 26  | 40  | 19  |
| 75     | 53        | 33  | 55  | 40  | 52  | 35  |
| 100    | 59        | 53  | 71  | 60  | 65  | 59  |
| 125    | 70        | 64  | 112 | 85  | 86  | 72  |
| 150    | 86        | 72  | 132 | 100 | 108 | 80  |
| 175    | 103       | 82  | 146 | 121 | 122 | 91  |
| 200    | 116       | 86  | 157 | 135 | 151 | 105 |
| 225    | 133       | 92  | 188 | 160 | 165 | 121 |
| 250    | 150       | 96  | 203 | 182 | 179 | 130 |
| 275    | 172       | 100 | 218 | 201 | 185 | 138 |
| 300    | 179       | 105 | 231 | 218 | 192 | 146 |
| 325    | 194       | 109 | 246 | 231 | 199 | 154 |
| 350    | 210       | 114 | 261 | 240 | 212 | 158 |
| 375    | 221       | 118 | 277 | 246 | 229 | 164 |
| 400    | 233       | 122 | 292 | 251 | 239 | 168 |
| 425    | 249       | 126 | 351 | 256 | 254 | 172 |
| 450    | 264       | 130 | 425 | 260 | 275 | 175 |
| 475    | 278       | 134 | 493 | 264 | 297 | 178 |
| 500    | 294       | 138 | 565 | 268 | 311 | 181 |
| 525    | 314       | 142 | 575 | 272 | 332 | 184 |
| 550    | 327       | 146 | 587 | 275 | 345 | 187 |
| 575    | 342       | 150 | 596 | 278 | 370 | 190 |
| 600    | 356       | 154 | 601 | 282 | 384 | 193 |
| 625    | 373       | 158 | 607 | 286 | 399 | 195 |
| 650    | 387       | 162 | 612 | 290 | 411 | 197 |
| 675    | 403       | 167 | 617 | 295 | 440 | 200 |
| 700    | 429       | 169 | 623 | 300 | 464 | 204 |
| 725    | 436       | 171 | 627 | 306 | 485 | 207 |
| 750    | 451       | 174 | 633 | 310 | 500 | 210 |
| 775    | 468       | 177 | 643 | 314 | 511 | 213 |
| 800    | 483       | 180 | 653 | 318 | 524 | 217 |
| 825    | 499       | 184 | 662 | 322 | 538 | 220 |
| 850    | 516       | 186 | 670 | 326 | 548 | 224 |
| 875    | 533       | 188 | 678 | 330 | 562 | 228 |
| 900    | 550       | 191 | 686 | 335 | 576 | 232 |
| 925    | 567       | 195 | 695 | 341 | 591 | 236 |
| 950    | 583       | 199 | 704 | 345 | 605 | 241 |
| 975    | 602       | 203 | 713 | 349 | 623 | 244 |
| 1000   | 618       | 208 | 722 | 352 | 639 | 247 |
| 1025   | 636       | 210 | 732 | 355 | 654 | 250 |
| 1050   | 654       | 212 | 742 | 358 | 668 | 252 |
| 1075   | 667       | 215 | 752 | 361 | 682 | 254 |
| 1100   | 683       | 217 | 760 | 364 | 711 | 257 |
| 1125   | 704       | 219 | 770 | 367 | 731 | 261 |
| 1150   | 766       | 222 | 779 | 370 | 751 | 266 |

RPT(보강판)

|      |        |      |       |      |      |
|------|--------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |        | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | RPT보강판 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |     |     |
|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | 1차        |     | 2차  |     | 3차  |     |
|        | 관입        | 인발  | 관입  | 인발  | 관입  | 인발  |
| 25     | 18        | 0   | 3   | 0   | 8   | 0   |
| 50     | 34        | 8   | 8   | 12  | 21  | 10  |
| 75     | 51        | 14  | 11  | 24  | 34  | 18  |
| 100    | 81        | 18  | 14  | 28  | 48  | 24  |
| 125    | 99        | 22  | 19  | 32  | 56  | 28  |
| 150    | 110       | 26  | 22  | 36  | 65  | 32  |
| 175    | 128       | 30  | 26  | 40  | 74  | 36  |
| 200    | 141       | 33  | 29  | 45  | 84  | 38  |
| 225    | 198       | 36  | 34  | 50  | 89  | 40  |
| 250    | 229       | 39  | 37  | 55  | 97  | 42  |
| 275    | 240       | 42  | 40  | 61  | 104 | 45  |
| 300    | 255       | 45  | 44  | 66  | 113 | 47  |
| 325    | 270       | 48  | 48  | 72  | 121 | 49  |
| 350    | 287       | 51  | 52  | 76  | 129 | 51  |
| 375    | 317       | 54  | 67  | 80  | 137 | 53  |
| 400    | 332       | 57  | 71  | 85  | 145 | 55  |
| 425    | 346       | 61  | 75  | 91  | 153 | 57  |
| 450    | 361       | 64  | 78  | 94  | 161 | 60  |
| 475    | 381       | 66  | 81  | 97  | 169 | 63  |
| 500    | 388       | 68  | 84  | 100 | 176 | 65  |
| 525    | 395       | 70  | 89  | 103 | 184 | 67  |
| 550    | 402       | 72  | 98  | 106 | 204 | 69  |
| 575    | 470       | 75  | 106 | 109 | 210 | 71  |
| 600    | 486       | 78  | 115 | 111 | 217 | 73  |
| 625    | 501       | 80  | 130 | 113 | 223 | 75  |
| 650    | 516       | 82  | 147 | 115 | 230 | 78  |
| 675    | 537       | 84  | 164 | 117 | 237 | 80  |
| 700    | 561       | 86  | 180 | 119 | 245 | 82  |
| 725    | 581       | 88  | 192 | 121 | 251 | 85  |
| 750    | 600       | 90  | 200 | 123 | 259 | 87  |
| 775    | 621       | 92  | 219 | 125 | 264 | 89  |
| 800    | 640       | 94  | 235 | 127 | 272 | 91  |
| 825    | 660       | 96  | 252 | 129 | 279 | 93  |
| 850    | 678       | 98  | 265 | 131 | 286 | 96  |
| 875    | 693       | 100 | 277 | 133 | 294 | 98  |
| 900    | 708       | 103 | 309 | 135 | 302 | 100 |
| 925    | 723       | 106 | 343 | 137 | 311 | 103 |
| 950    | 739       | 108 | 373 | 139 | 318 | 106 |
| 975    | 752       | 110 | 408 | 141 | 325 | 108 |
| 1000   | 771       | 113 | 440 | 144 | 332 | 110 |
| 1025   | 789       | 116 | 456 | 147 | 341 | 112 |
| 1050   | 819       | 119 | 477 | 150 | 348 | 114 |
| 1075   |           |     | 491 | 153 | 355 | 116 |
| 1100   |           |     | 508 | 156 | 362 | 119 |
| 1125   |           |     |     |     | 370 | 121 |
| 1150   |           |     |     |     | 378 | 124 |

Sheet-pile(SP400)

|      |       |      |       |      |      |
|------|-------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |       | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | SP400 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |    |     |     |
|--------|-----------|-----|-----|----|-----|-----|
|        | 1차        |     | 2차  |    | 3차  |     |
|        | 관입        | 인발  | 관입  | 인발 | 관입  | 인발  |
| 25     | 8         | 0   | 2   | 0  | 4   | 0   |
| 50     | 30        | 2   | 4   | 6  | 9   | 5   |
| 75     | 43        | 7   | 6   | 9  | 13  | 10  |
| 100    | 57        | 12  | 8   | 11 | 19  | 15  |
| 125    | 62        | 21  | 11  | 14 | 25  | 19  |
| 150    | 68        | 25  | 13  | 17 | 29  | 23  |
| 175    | 75        | 28  | 15  | 20 | 34  | 27  |
| 200    | 85        | 31  | 17  | 23 | 39  | 30  |
| 225    | 89        | 34  | 20  | 26 | 44  | 33  |
| 250    | 93        | 37  | 22  | 29 | 48  | 36  |
| 275    | 97        | 40  | 24  | 31 | 53  | 40  |
| 300    | 101       | 44  | 27  | 34 | 58  | 44  |
| 325    | 108       | 47  | 30  | 37 | 62  | 48  |
| 350    | 111       | 51  | 33  | 41 | 68  | 51  |
| 375    | 114       | 54  | 38  | 44 | 71  | 53  |
| 400    | 119       | 57  | 41  | 48 | 74  | 55  |
| 425    | 123       | 59  | 44  | 52 | 77  | 57  |
| 450    | 126       | 64  | 48  | 55 | 80  | 60  |
| 475    | 129       | 70  | 52  | 59 | 82  | 63  |
| 500    | 132       | 75  | 55  | 62 | 84  | 66  |
| 525    | 138       | 80  | 58  | 65 | 86  | 69  |
| 550    | 140       | 84  | 61  | 68 | 88  | 73  |
| 575    | 144       | 88  | 66  | 71 | 90  | 76  |
| 600    | 147       | 92  | 69  | 73 | 92  | 80  |
| 625    | 151       | 96  | 72  | 75 | 94  | 84  |
| 650    | 155       | 101 | 74  | 77 | 97  | 88  |
| 675    | 163       | 106 | 76  | 79 | 100 | 91  |
| 700    | 165       | 111 | 78  | 81 | 104 | 94  |
| 725    | 169       | 116 | 81  | 83 | 106 | 96  |
| 750    | 182       | 121 | 86  | 85 | 108 | 98  |
| 775    | 185       | 126 | 91  | 87 | 110 | 100 |
| 800    | 190       | 130 | 98  | 89 | 114 | 102 |
| 825    | 194       | 134 | 100 | 91 | 119 | 104 |
| 850    | 197       | 138 | 103 | 93 | 125 | 106 |
| 875    | 201       | 141 | 106 | 94 | 131 | 108 |
| 900    | 205       | 144 | 109 | 95 | 138 | 110 |
| 925    |           |     |     |    |     |     |
| 950    |           |     |     |    |     |     |

Sheet-pile(SP500)

|      |       |      |       |      |      |
|------|-------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |       | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | SP500 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |    |     |    |     |    |
|--------|-----------|----|-----|----|-----|----|
|        | 1차        |    | 2차  |    | 3차  |    |
|        | 관입        | 인발 | 관입  | 인발 | 관입  | 인발 |
| 25     | 2         | 0  | 10  | 0  | 8   | 0  |
| 50     | 4         | 10 | 21  | 4  | 19  | 6  |
| 75     | 6         | 15 | 36  | 8  | 33  | 9  |
| 100    | 8         | 20 | 50  | 10 | 52  | 11 |
| 125    | 25        | 25 | 65  | 12 | 64  | 13 |
| 150    | 36        | 29 | 81  | 14 | 78  | 15 |
| 175    | 53        | 34 | 96  | 17 | 93  | 17 |
| 200    | 69        | 37 | 110 | 19 | 108 | 19 |
| 225    | 84        | 39 | 123 | 22 | 123 | 21 |
| 250    | 99        | 41 | 138 | 24 | 136 | 23 |
| 275    | 112       | 43 | 153 | 26 | 151 | 25 |
| 300    | 129       | 45 | 165 | 28 | 167 | 26 |
| 325    | 144       | 47 | 183 | 30 | 180 | 28 |
| 350    | 158       | 49 | 195 | 33 | 195 | 30 |
| 375    | 174       | 51 | 212 | 35 | 208 | 31 |
| 400    | 190       | 53 | 227 | 37 | 224 | 33 |
| 425    | 205       | 55 | 240 | 39 | 238 | 35 |
| 450    | 220       | 57 | 255 | 41 | 252 | 37 |
| 475    | 235       | 59 | 271 | 43 | 267 | 39 |
| 500    | 248       | 61 | 285 | 44 | 279 | 41 |
| 525    | 263       | 63 | 301 | 45 | 295 | 43 |
| 550    | 279       | 65 | 316 | 47 | 310 | 45 |
| 575    | 294       | 67 | 331 | 48 | 324 | 47 |
| 600    | 308       | 68 | 347 | 50 | 338 | 50 |
| 625    | 324       | 70 | 362 | 52 | 354 | 52 |
| 650    | 339       | 71 | 375 | 53 | 369 | 54 |
| 675    | 356       | 73 | 391 | 55 | 383 | 56 |
| 700    | 371       | 74 | 406 | 57 | 402 | 58 |
| 725    | 388       | 75 | 423 | 59 | 414 | 60 |
| 750    | 402       | 77 | 436 | 60 | 429 | 62 |
| 775    | 418       | 78 | 452 | 62 | 444 | 64 |
| 800    | 434       | 79 | 468 | 64 | 459 | 67 |
| 825    | 448       | 81 | 563 | 65 | 474 | 69 |
| 850    | 468       | 82 | 577 | 67 | 489 | 71 |
| 875    | 485       | 83 | 593 | 69 | 505 | 74 |
| 900    | 498       | 84 | 610 | 70 | 521 | 78 |
| 925    |           |    |     |    |     |    |
| 950    |           |    |     |    |     |    |

H-pile(H298)

|      |      |      |       |      |      |
|------|------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |      | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | H298 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |     |    |
|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|----|
|        | 1차        |     | 2차  |     | 3차  |    |
|        | 관입        | 인발  | 관입  | 인발  | 관입  | 인발 |
| 25     | 4         | 0   | 3   | 0   | 5   | 0  |
| 50     | 16        | 8   | 12  | 12  | 18  | 10 |
| 75     | 23        | 13  | 20  | 18  | 22  | 14 |
| 100    | 30        | 16  | 26  | 23  | 29  | 17 |
| 125    | 46        | 18  | 35  | 26  | 38  | 20 |
| 150    | 78        | 21  | 46  | 30  | 45  | 24 |
| 175    | 86        | 24  | 62  | 33  | 56  | 28 |
| 200    | 91        | 26  | 85  | 35  | 68  | 31 |
| 225    | 110       | 28  | 96  | 38  | 85  | 35 |
| 250    | 133       | 30  | 108 | 41  | 90  | 38 |
| 275    | 142       | 33  | 125 | 44  | 94  | 40 |
| 300    | 148       | 35  | 140 | 48  | 100 | 42 |
| 325    | 155       | 38  | 153 | 51  | 106 | 46 |
| 350    | 162       | 40  | 161 | 53  | 113 | 49 |
| 375    | 168       | 43  | 170 | 56  | 121 | 51 |
| 400    | 173       | 45  | 178 | 58  | 129 | 53 |
| 425    | 181       | 48  | 183 | 61  | 136 | 56 |
| 450    | 187       | 51  | 187 | 64  | 140 | 58 |
| 475    | 194       | 55  | 192 | 66  | 145 | 60 |
| 500    | 199       | 59  | 196 | 68  | 152 | 62 |
| 525    | 206       | 62  | 201 | 70  | 160 | 64 |
| 550    | 212       | 65  | 207 | 72  | 166 | 66 |
| 575    | 218       | 69  | 211 | 75  | 172 | 68 |
| 600    | 224       | 73  | 218 | 77  | 180 | 70 |
| 625    | 230       | 76  | 223 | 80  | 189 | 73 |
| 650    | 235       | 79  | 228 | 82  | 195 | 75 |
| 675    | 241       | 81  | 232 | 84  | 203 | 78 |
| 700    | 247       | 83  | 235 | 86  | 212 | 80 |
| 725    | 252       | 85  | 238 | 88  | 226 | 82 |
| 750    | 258       | 88  | 241 | 90  | 233 | 83 |
| 775    | 263       | 90  | 244 | 93  | 242 | 85 |
| 800    | 269       | 92  | 247 | 96  | 249 | 87 |
| 825    | 275       | 94  | 255 | 99  | 254 | 90 |
| 850    | 282       | 96  | 269 | 102 | 260 | 92 |
| 875    | 289       | 99  | 275 | 105 | 268 | 95 |
| 900    | 295       | 102 | 281 | 108 | 274 | 98 |
| 925    |           |     |     |     |     |    |
| 950    |           |     |     |     |     |    |

H-pile(H300)

|      |      |      |       |      |      |
|------|------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |      | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | H300 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |     |     |
|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | 1차        |     | 2차  |     | 3차  |     |
|        | 관입        | 인발  | 관입  | 인발  | 관입  | 인발  |
| 25     | 4         | 0   | 4   | 0   | 3   | 0   |
| 50     | 13        | 4   | 7   | 11  | 9   | 7   |
| 75     | 24        | 7   | 13  | 14  | 15  | 11  |
| 100    | 32        | 10  | 18  | 17  | 22  | 15  |
| 125    | 40        | 14  | 25  | 20  | 30  | 19  |
| 150    | 49        | 19  | 36  | 22  | 39  | 22  |
| 175    | 58        | 23  | 42  | 25  | 46  | 25  |
| 200    | 64        | 41  | 47  | 27  | 53  | 28  |
| 225    | 71        | 47  | 53  | 29  | 60  | 31  |
| 250    | 84        | 51  | 58  | 31  | 68  | 34  |
| 275    | 91        | 55  | 65  | 34  | 90  | 38  |
| 300    | 98        | 60  | 77  | 37  | 93  | 41  |
| 325    | 105       | 65  | 88  | 40  | 98  | 46  |
| 350    | 112       | 69  | 95  | 43  | 102 | 49  |
| 375    | 119       | 75  | 101 | 46  | 106 | 53  |
| 400    | 126       | 79  | 105 | 48  | 110 | 56  |
| 425    | 133       | 83  | 110 | 51  | 114 | 58  |
| 450    | 139       | 87  | 115 | 54  | 120 | 61  |
| 475    | 146       | 92  | 121 | 57  | 123 | 65  |
| 500    | 152       | 98  | 125 | 60  | 126 | 69  |
| 525    | 162       | 101 | 130 | 62  | 129 | 72  |
| 550    | 168       | 105 | 136 | 64  | 134 | 75  |
| 575    | 173       | 110 | 142 | 66  | 138 | 77  |
| 600    | 178       | 115 | 146 | 69  | 146 | 80  |
| 625    | 184       | 120 | 152 | 71  | 152 | 84  |
| 650    | 189       | 126 | 159 | 73  | 158 | 88  |
| 675    | 195       | 131 | 165 | 75  | 164 | 91  |
| 700    | 222       | 136 | 173 | 77  | 169 | 95  |
| 725    | 229       | 142 | 180 | 79  | 175 | 97  |
| 750    | 236       | 145 | 187 | 81  | 181 | 100 |
| 775    | 243       | 150 | 194 | 83  | 187 | 104 |
| 800    | 249       | 155 | 201 | 85  | 193 | 107 |
| 825    | 254       | 161 | 208 | 87  | 200 | 111 |
| 850    | 261       | 165 | 215 | 90  | 206 | 116 |
| 875    | 268       | 169 | 222 | 94  | 214 | 120 |
| 900    | 275       | 173 | 229 | 100 | 220 | 127 |
| 925    |           |     |     |     |     |     |
| 950    |           |     |     |     |     |     |

판넬 관입 평균

|      |      |      |       |      |      |
|------|------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |      | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | 판넬평균 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |      |      |
|--------|-----------|-----|-----|-----|------|------|
|        | 관입        |     |     |     |      |      |
|        | B         | R1  | R2  | N   | R2+S | 판넬평균 |
| 25     | 22        | 6   | 10  | 22  | 7    | 13   |
| 50     | 40        | 12  | 26  | 44  | 42   | 33   |
| 75     | 55        | 32  | 45  | 63  | 53   | 49   |
| 100    | 72        | 52  | 62  | 80  | 62   | 66   |
| 125    | 89        | 73  | 81  | 104 | 78   | 85   |
| 150    | 114       | 93  | 97  | 128 | 97   | 106  |
| 175    | 133       | 112 | 116 | 145 | 113  | 124  |
| 200    | 145       | 132 | 137 | 170 | 134  | 144  |
| 225    | 162       | 154 | 152 | 184 | 149  | 160  |
| 250    | 176       | 173 | 169 | 206 | 165  | 178  |
| 275    | 194       | 187 | 195 | 227 | 179  | 196  |
| 300    | 209       | 219 | 214 | 250 | 186  | 215  |
| 325    | 228       | 234 | 228 | 265 | 197  | 230  |
| 350    | 244       | 253 | 238 | 281 | 211  | 245  |
| 375    | 260       | 269 | 256 | 295 | 225  | 261  |
| 400    | 276       | 285 | 277 | 314 | 236  | 277  |
| 425    | 293       | 299 | 290 | 339 | 252  | 294  |
| 450    | 308       | 316 | 304 | 358 | 270  | 311  |
| 475    | 325       | 333 | 321 | 377 | 288  | 329  |
| 500    | 340       | 352 | 335 | 392 | 303  | 344  |
| 525    | 358       | 368 | 354 | 408 | 323  | 362  |
| 550    | 374       | 391 | 369 | 422 | 336  | 378  |
| 575    | 390       | 411 | 384 | 438 | 356  | 396  |
| 600    | 410       | 426 | 398 | 452 | 370  | 411  |
| 625    | 429       | 447 | 415 | 467 | 386  | 429  |
| 650    | 446       | 463 | 430 | 483 | 399  | 444  |
| 675    | 464       | 481 | 445 | 498 | 422  | 462  |
| 700    | 482       | 501 | 462 | 515 | 447  | 481  |
| 725    | 498       | 519 | 476 | 533 | 461  | 497  |
| 750    | 516       | 538 | 493 | 558 | 476  | 516  |
| 775    | 556       | 554 | 508 | 592 | 490  | 540  |
| 800    |           |     |     |     | 504  |      |
| 825    |           |     |     |     | 519  |      |
| 850    |           |     |     |     | 532  |      |
| 875    |           |     |     |     | 548  |      |
| 900    |           |     |     |     | 563  |      |
| 925    |           |     |     |     | 579  |      |
| 950    |           |     |     |     | 594  |      |
| 975    |           |     |     |     | 613  |      |
| 1000   |           |     |     |     | 629  |      |
| 1025   |           |     |     |     | 645  |      |
| 1050   |           |     |     |     | 661  |      |
| 1075   |           |     |     |     | 675  |      |
| 1100   |           |     |     |     | 697  |      |
| 1125   |           |     |     |     | 718  |      |
| 1150   |           |     |     |     | 759  |      |

판넬 인발 평균

|      |      |      |       |      |      |
|------|------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |      | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | 판넬평균 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |     |     |     |      |      |
|--------|-----------|-----|-----|-----|------|------|
|        | 인발        |     |     |     |      |      |
|        | B         | R1  | R2  | N   | R2+S | 판넬평균 |
| 25     | 0         | 0   | 0   | 0   | 0    | 0    |
| 50     | 16        | 14  | 21  | 23  | 20   | 19   |
| 75     | 20        | 28  | 38  | 37  | 34   | 32   |
| 100    | 23        | 39  | 49  | 50  | 56   | 43   |
| 125    | 26        | 47  | 56  | 62  | 68   | 52   |
| 150    | 30        | 55  | 63  | 72  | 76   | 59   |
| 175    | 34        | 62  | 67  | 80  | 87   | 66   |
| 200    | 37        | 66  | 70  | 88  | 96   | 72   |
| 225    | 41        | 71  | 75  | 94  | 107  | 77   |
| 250    | 45        | 76  | 78  | 97  | 113  | 82   |
| 275    | 49        | 81  | 81  | 99  | 119  | 86   |
| 300    | 51        | 85  | 84  | 102 | 126  | 90   |
| 325    | 54        | 89  | 87  | 104 | 132  | 93   |
| 350    | 56        | 94  | 90  | 107 | 136  | 97   |
| 375    | 59        | 98  | 93  | 110 | 141  | 100  |
| 400    | 63        | 101 | 96  | 113 | 145  | 103  |
| 425    | 66        | 104 | 98  | 116 | 149  | 107  |
| 450    | 69        | 108 | 100 | 119 | 153  | 110  |
| 475    | 72        | 111 | 102 | 121 | 156  | 113  |
| 500    | 76        | 114 | 104 | 124 | 160  | 115  |
| 525    | 79        | 117 | 107 | 126 | 163  | 118  |
| 550    | 81        | 120 | 109 | 129 | 167  | 121  |
| 575    | 84        | 122 | 111 | 132 | 170  | 124  |
| 600    | 87        | 124 | 113 | 134 | 174  | 126  |
| 625    | 89        | 127 | 115 | 136 | 177  | 129  |
| 650    | 92        | 130 | 117 | 138 | 180  | 131  |
| 675    | 95        | 132 | 120 | 140 | 184  | 134  |
| 700    | 98        | 135 | 122 | 142 | 187  | 137  |
| 725    | 101       | 138 | 124 | 144 | 189  | 139  |
| 750    | 104       | 140 | 127 | 145 | 192  | 142  |
| 775    | 107       | 141 | 130 | 146 | 195  | 144  |
| 800    |           |     |     |     | 199  |      |
| 825    |           |     |     |     | 202  |      |
| 850    |           |     |     |     | 205  |      |
| 875    |           |     |     |     | 208  |      |
| 900    |           |     |     |     | 212  |      |
| 925    |           |     |     |     | 216  |      |
| 950    |           |     |     |     | 220  |      |
| 975    |           |     |     |     | 224  |      |
| 1000   |           |     |     |     | 228  |      |
| 1025   |           |     |     |     | 230  |      |
| 1050   |           |     |     |     | 232  |      |
| 1075   |           |     |     |     | 235  |      |
| 1100   |           |     |     |     | 237  |      |
| 1125   |           |     |     |     | 240  |      |
| 1150   |           |     |     |     | 244  |      |

Pile 및 보강판 관입 평균

|      |      |      |       |      |      |
|------|------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |      | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | 파일평균 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |       |      |      |       |      |
|--------|-----------|-------|------|------|-------|------|
|        | 관입        |       |      |      |       |      |
|        | SP400     | SP500 | H298 | H300 | R P T | 파일평균 |
| 25     | 5         | 7     | 4    | 4    | 10    | 6    |
| 50     | 14        | 15    | 15   | 10   | 21    | 15   |
| 75     | 21        | 25    | 22   | 17   | 32    | 23   |
| 100    | 28        | 37    | 28   | 24   | 48    | 33   |
| 125    | 33        | 51    | 40   | 32   | 58    | 43   |
| 150    | 37        | 65    | 56   | 41   | 66    | 53   |
| 175    | 41        | 81    | 68   | 49   | 76    | 63   |
| 200    | 47        | 96    | 81   | 55   | 85    | 73   |
| 225    | 51        | 110   | 97   | 61   | 107   | 85   |
| 250    | 54        | 124   | 110  | 70   | 121   | 96   |
| 275    | 58        | 139   | 120  | 82   | 128   | 105  |
| 300    | 62        | 154   | 129  | 89   | 137   | 114  |
| 325    | 67        | 169   | 138  | 97   | 146   | 123  |
| 350    | 71        | 183   | 145  | 103  | 156   | 132  |
| 375    | 74        | 198   | 153  | 109  | 174   | 142  |
| 400    | 78        | 214   | 160  | 114  | 183   | 150  |
| 425    | 81        | 228   | 167  | 119  | 191   | 157  |
| 450    | 85        | 242   | 171  | 125  | 200   | 165  |
| 475    | 88        | 258   | 177  | 130  | 210   | 173  |
| 500    | 90        | 271   | 182  | 134  | 216   | 179  |
| 525    | 94        | 286   | 189  | 140  | 223   | 186  |
| 550    | 96        | 302   | 195  | 146  | 235   | 195  |
| 575    | 100       | 316   | 200  | 151  | 262   | 206  |
| 600    | 103       | 331   | 207  | 157  | 273   | 214  |
| 625    | 106       | 347   | 214  | 163  | 285   | 223  |
| 650    | 109       | 361   | 219  | 169  | 298   | 231  |
| 675    | 113       | 377   | 225  | 175  | 313   | 240  |
| 700    | 116       | 393   | 231  | 188  | 329   | 251  |
| 725    | 119       | 408   | 239  | 195  | 341   | 260  |
| 750    | 125       | 422   | 244  | 201  | 353   | 269  |
| 775    | 129       | 438   | 250  | 208  | 368   | 278  |
| 800    | 134       | 454   | 255  | 214  | 382   | 288  |
| 825    | 138       | 495   | 261  | 221  | 397   | 302  |
| 850    | 142       | 511   | 270  | 227  | 410   | 312  |
| 875    | 146       | 528   | 277  | 235  | 421   | 321  |
| 900    | 151       | 543   | 283  | 241  | 440   | 332  |
| 925    |           |       |      |      | 459   |      |
| 950    |           |       |      |      | 477   |      |
| 975    |           |       |      |      | 495   |      |
| 1000   |           |       |      |      | 514   |      |
| 1025   |           |       |      |      | 529   |      |
| 1050   |           |       |      |      | 548   |      |
| 1075   |           |       |      |      |       |      |
| 1100   |           |       |      |      |       |      |
| 1125   |           |       |      |      |       |      |
| 1150   |           |       |      |      |       |      |

Pile 및 보강판 인발 평균

|      |      |      |       |      |      |
|------|------|------|-------|------|------|
| 실험날짜 |      | 실험장소 | 충남 논산 | 토질조건 | 연약지반 |
| 실험부재 | 파일평균 | 해머용량 | 90kw  | 작성자  | 조병두  |

| 구분(cm) | 측정시간(sec) |       |      |      |       |      |
|--------|-----------|-------|------|------|-------|------|
|        | 인발        |       |      |      |       |      |
|        | SP400     | SP500 | H298 | H300 | R P T | 파일평균 |
| 25     | 0         | 0     | 0    | 0    | 0     | 0    |
| 50     | 4         | 7     | 10   | 7    | 10    | 8    |
| 75     | 9         | 11    | 15   | 11   | 19    | 13   |
| 100    | 13        | 14    | 19   | 14   | 23    | 16   |
| 125    | 18        | 17    | 21   | 18   | 27    | 20   |
| 150    | 22        | 19    | 25   | 21   | 31    | 24   |
| 175    | 25        | 23    | 28   | 24   | 35    | 27   |
| 200    | 28        | 25    | 31   | 32   | 39    | 31   |
| 225    | 31        | 27    | 34   | 36   | 42    | 34   |
| 250    | 34        | 29    | 36   | 39   | 45    | 37   |
| 275    | 37        | 31    | 39   | 42   | 49    | 40   |
| 300    | 41        | 33    | 42   | 46   | 53    | 43   |
| 325    | 44        | 35    | 45   | 50   | 56    | 46   |
| 350    | 48        | 37    | 47   | 54   | 59    | 49   |
| 375    | 50        | 39    | 50   | 58   | 62    | 52   |
| 400    | 53        | 41    | 52   | 61   | 66    | 55   |
| 425    | 56        | 43    | 55   | 64   | 70    | 58   |
| 450    | 60        | 45    | 58   | 67   | 73    | 60   |
| 475    | 64        | 47    | 60   | 71   | 75    | 64   |
| 500    | 68        | 49    | 63   | 76   | 78    | 67   |
| 525    | 71        | 50    | 65   | 78   | 80    | 69   |
| 550    | 75        | 52    | 68   | 81   | 82    | 72   |
| 575    | 78        | 54    | 71   | 84   | 85    | 74   |
| 600    | 82        | 56    | 73   | 88   | 87    | 77   |
| 625    | 85        | 58    | 76   | 92   | 89    | 80   |
| 650    | 89        | 59    | 79   | 96   | 92    | 83   |
| 675    | 92        | 61    | 81   | 99   | 94    | 85   |
| 700    | 95        | 63    | 83   | 103  | 96    | 88   |
| 725    | 98        | 65    | 85   | 106  | 98    | 90   |
| 750    | 101       | 66    | 87   | 109  | 100   | 93   |
| 775    | 104       | 68    | 89   | 112  | 102   | 95   |
| 800    | 107       | 70    | 92   | 116  | 104   | 98   |
| 825    | 110       | 72    | 94   | 120  | 106   | 100  |
| 850    | 112       | 73    | 97   | 124  | 108   | 103  |
| 875    | 114       | 75    | 100  | 128  | 110   | 105  |
| 900    | 116       | 77    | 103  | 133  | 113   | 108  |
| 925    |           |       |      |      | 115   |      |
| 950    |           |       |      |      | 118   |      |
| 975    |           |       |      |      | 120   |      |
| 1000   |           |       |      |      | 122   |      |
| 1025   |           |       |      |      | 125   |      |
| 1050   |           |       |      |      | 128   |      |
| 1075   |           |       |      |      |       |      |
| 1100   |           |       |      |      |       |      |
| 1125   |           |       |      |      |       |      |
| 1150   |           |       |      |      |       |      |

A5. 시공 단계별 사진



그림 A5.1 지반 평탄화 및 시험부재 하차



그림 A5.2 부재 현장 적치 및 눈금표시(1)



그림 A5.3 부재 현장 적치 및 눈금표시(2)



그림 A5.4 부재 크레인 인양



그림 A5.5 바이브로해머 압착



그림 A5.6 아치형 판넬(B) 관입 및 인발



그림 A5.7 아치형 판넬(R1) 관입 및 인발



그림 A5.8 아치형 판넬(R2) 관입 및 인발



그림 A5.9 아치형 판넬(N) 관입 및 인발



그림 A5.10 아치형 판넬(R2+S) 관입 및 인발



그림 A5.11 RPT(보강판) 관입 및 인발



그림 A5.12 H-pile 관입 및 인발



그림 A5.13 Sheet-pile 관입 및 인발