

목 차

■ 기술자료	■ 연약지반상의 성토관리기법에 관한 연구	기술연구소 김호비	1
	■ TTM 공법 적용사례 연구	서울지하철 7-20공구현장 박종현	21
	■ 암석공학 이야기(I)	도목설계팀 이정완	40
■ 시공사례	■ 한진그룹부산사옥 신축공사현장	정재훈	55
	토공사공법 적용사례	김기대	
	■ 이동식비계 공법에 의한	정릉천변 도시고속도현장 백종희	69
■ 기술단신	■ 건설관련 유용 SITE		80
	■ 통합된 콘크리트구조 설계기준 내용 요약		86
	■ 기술연구소 소식		89

연약지반상의 성토관리기법에 관한 연구

- 성토관리 프로그램 개발 -

기술연구소 토목과장 주태성

토목기사 김호비

1. 서 론

프리로딩(preloading)공법에 의해 연약지반을 개량할 때 지반침하, 횡방향 변위, 사면의 붕괴를 방지하기 위한 성토하중 조절의 문제가 대두하게 되고, 이를 해결하는데 보통 많은 비용과 장기간에 걸친 시간이 필요하다. 일반적으로 연약지반은 강도가 작고 압축성이 큰 완전 포화된 점성토 지반을 의미하며, 이들 지반의 역학적 특성을 개량하기 위한 설계시에는 대표지점에서 채취된 소수의 시료에 의존하여 지반의 압축특성 및 전단강도 특성을 평가할 수 밖에 없기 때문에 설계시 예측되는 거동과 실제 현장의 거동과는 상당한 차이가 발생할 수 밖에 없다. 그러므로 시공시에 계측자료의 분석을 통해 실제 현장조건에 맞도록 설계보정을 수행해 나가는 과정을 반복해야만 한다. 이를 위해 계측기의 자료를 이용하여 연약지반의 성토관리를 할 수 있는 컴퓨터 프로그램이 개발, 사용되고 있으나 현장에서 사용되고 있는 계측기는 그 종류가 다양할 뿐만 아니라 계측기 생산회사별로 각 계측기 특성에 맞는 고유의 프로그램이 있어 현실적으로 2종 이상의 계측기를 보유한 건설회사에서 동일한 종류의 자료를 획득하기 위해 여러 프로그램을 이용해야 할 뿐만 아니라 출력형태도 다양하여 불편함이 많은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 국내에 도입된 여러 계측기의 프로토콜을 분석하여 계측기의 종류에 관계없이 동일 컴퓨터 프로그램을 사용하여 자료를 쉽게 분석할 수 있는 윈도우용 프로그램을 개발하였다.

2. 연약지반의 처리

2.1 공사와 예측

공사규모의 대형화, 구조물 기능의 고도화, 시공의 급속화 등이 요구되는 최근

에는 소요 공기내에 경제적인 공사를 하는 것이 주된 과제이다. 그러나 실제 토질 조사를 통한 충분한 지반자료를 가지고 설계, 시공을 하는 것은 무리이므로 설계, 시공시 과거에 축적된 경험, 필요에 따라 행해지는 현장시험, 시공중에 수행하는 계측관리 또는 유지관리를 위한 장기관측의 결과에 따라 토질공학에 근거한 기술적인 판단과 대책이 중요하다.

2.2 연약지반에서의 일반적인 문제점

1) 안전성

급속한 성토하중의 재하로 인해 측방변형이 커지고 활동파괴가 발생 할 수 있다. 활동파괴된 지반은 크게 교란되어 강도가 저하되며 복구 시 많은 시간과 경비가 소요된다. 따라서 계측관리를 통한 제체의 안전성 확보 및 이를 고려한 완속 성토재하를 실시하는 것이 원칙이다.

2) 침하

과도한 침하시 지반의 변형으로 인하여 압밀탈수기능의 저하를 유발할 수 있으며 도로제체인 경우 제체의 상단 폭이 부족해지는 문제점이 발생할 수 있다. 또한 교대 접속부에서는 단차로 인하여 횡단 구조물이 침하로 인한 변형을 받아 균열되는 등 여러 가지 문제점을 가져올 수 있다.

3) 장기침하문제

연약지반에서 점성토 지반인 경우 하중재하시 지반의 투수성이 낮은 까닭에 침하변형이 장기간에 걸쳐서 서서히 발생할 수 있으며 크리프변형에 의한 장기 2차 침하문제가 발생할 수 있다.

4) 인접구조물에 미치는 영향

연약지반 개량시 구조물이 연약지반 처리부와 인접해 있는 경우 지반의 침하 변형으로 인해 구조물에 영향을 미칠 수 있다.

5) 설계 시 불확실성 문제

연약지반은 복잡한 지반특성을 대표치로 처리하는 과정에서 물성치를 단순화할 수 밖에 없기 때문에 설계시 많은 가정을 포함하게 된다. 지반 퇴적층의 방향성, 압밀층과 배수층의 구분 문제, 지반의 교란 등으로 인해 많은 문제점을 포함하게 된다.

이와 이론에 관련된 문제점 및 압밀 계산에 필요한 토질정수 결정의 문제, 수적 드레인 타설 시 문제점, 지반개량 효과 판정의 문제점 등이 있다.

3. 현장계측

계측이란 인간의 재능과 계측기의 기능을 조합시켜 공학적인 정보를 수집하는 형태로 이론과 기법, 통찰과 경험, 측정기술과 측정기기를 이용하여 공학적 문제 해결에 필요한 정성적, 정량적인 정보를 얻는 것을 말한다. 연약지반 개량을 위한 성토시 지반조건에 대한 불확실한 정보를 가지고 설계 및 시공을 하므로 여러 가지 문제점이 발생할 수 있고 이러한 문제점에 대처하기 위해서 현장계측을 실시하게 되는데 연약지반에서의 현장계측은 공사규모에 따라 관측시공을 위한 계측과 정보화 시공을 위한 계측으로 나눌 수 있다.

3.1 현장계측의 목적

현장계측자료를 가지고 공사 진행중의 한 시점에서 자료분석을 실시하여 다음 단계 공정에 반영할 수 있도록 하고 시공 도중 발생할 수 있는 활동파괴를 포함한 여러 가지 제반 문제점을 사전에 예지하여 안정된 체체지반을 유지할 수 있도록 도와준다.

다음 [표 3-1]은 현장계측 관리목적 및 중점사항을 설명하고 있다.

[표 3-1] 현장계측 관리목적 및 중점사항

현장계측항목	목 적	계측방법 및 계측기
(1) 지반 토질정수 변화파악	· 압밀에 의한 강도증진 확인 (함수비 변화 확인)	· 자연시료 채취 및 실내시험 Vane시험 등 현장 원위치 시험
(2) 연직 침하	· 예측치와 실측치 대비 · 최종 예상 침하량 잔류 침하량 예측 · 침하진행 속도 파악 · 파괴에 대한 지킴 설정	· 지표면 침하계 · 총별 침하계
(3) 수평 변위	· 즉시침하, 압밀침하, 전단변형 관계로부터 침하성상 및 침하량과의 상관관계 · 전단파괴 예측 · 전단변형 억제대책	· 지표면 변위계 (변위말뚝 혹은 지표면 신축계) · 경사계 · 스트레인 게이지

3.2 계측관리계획

현장계측은 계측목적으로부터 계측자료 분석에 이르는 일련의 기술적 수행성과의 조합으로 볼 수 있기 때문에 계측을 수행함에 있어서 정확한 토질조사 자료로부터 지반조건 및 설계에 대한 이해 그리고 적절한 계측기의 선택, 구조물 및 지반거동을 대표할 수 있는 합리적인 계측지점의 선정이 면밀하게 검토되어야 한다.

4. 침하관리

4.1 침하관리의 의의

성토에 의해 연약지반을 개량할 때 지반의 침하 거동이 설계자의 의도대로 진행 되는지를 확인하기 위해서는 침하자료를 충실히 분석해야 한다. 현장 계측을 실시 하였을 때 설계에 의해 산정된 예상 침하량보다 침하가 느리게 진행된다면 성토의 재하 기간을 연장하거나 재하높이를 증가 시켜야 한다.

4.2 침하량 추정방법

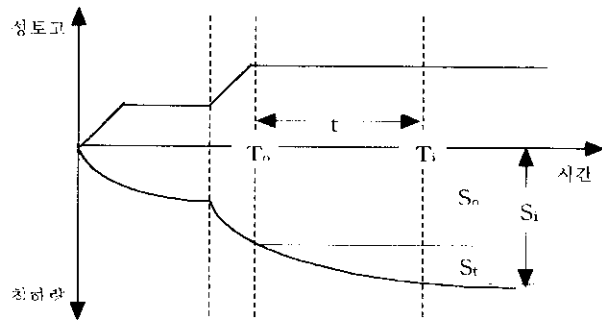
압밀과정의 어느 시점에서 관측된 실측자료로부터 장래 침하량을 추정하는 방법으로는 쌍곡선법(Hyperbolic Method), 평방근법(Hoshino Method), 직선법(Asaoka Method)이 있으며, 각 방법들을 개략적으로 설명하면 다음과 같다.

4.2.1 쌍곡선법

쌍곡선법은 “장래 예상되는 예측 침하곡선의 형태가 쌍곡선의 형태를 가진다”는 가정하에 초기의 실측침하량으로 부터 장래의 침하량을 예측하는 방법으로서 침하예측의 기본방정식은 다음과 같다.

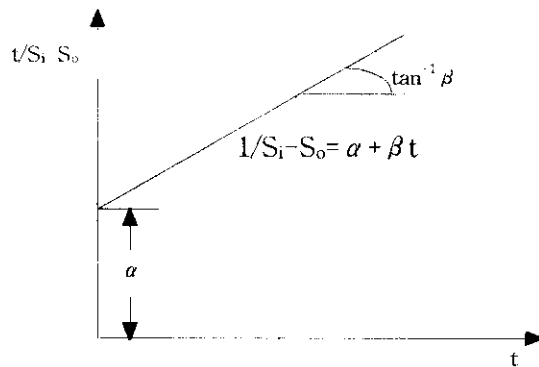
$$S_i = S_o + S_t = S_o + \frac{t}{\alpha + \beta t}$$

여기서 S_i 는 성토종료 후 임의시간에서의 침하량을, S_o 는 성토종료 직후의 침하량을 S_t 는 성토종료 직후 경과시간 t 에서의 침하량을 말하고 t 는 성토종료 직후 부터의 경과시간을 말한다. 또한 α 와 β 는 실측침하량 값으로부터 구한 계수이다.



<그림 4-1> 실측침하량과 성토고의 시간적 변화도

성토후 t 시간 동안의 실측침하량을 기초로 하여 $t/S_1 - S_0$ 를 계산한 다음 실측치에 의해 <그림 4-2>와 같이 $t \sim t/(S_1 - S_0)$ 의 관계를 그려 α 및 β 값을 결정한다. 최종침하량(S_f)은 $t = \infty$ 로 놓으면 구할 수 있다.



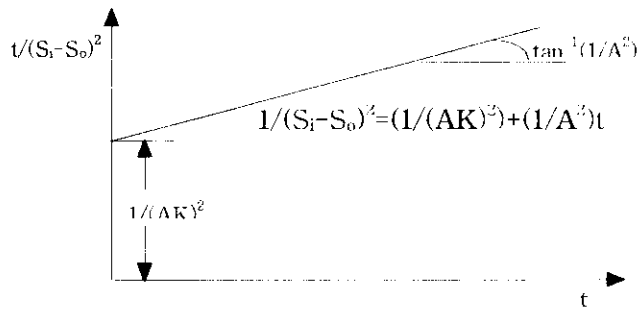
<그림 4-2> 쌍곡선법에서 계수의 결정법

4.2.2 평방근법(Hoshino법, $\sqrt{t}$ 법)

평방근법은 전체 침하량이 즉시 침하량과 압밀 침하량의 합으로 나타나고 압밀침하는 시간의 평방근에 비례한다고 가정한 방법으로 침하예측의 기본식은 다음과 같다.

$$S_t = S_0 + S_t = S_0 + \frac{A \cdot K \cdot \sqrt{t}}{\sqrt{1 + K^2 \cdot t}}$$

여기서 A와 K는 실측침하량 값으로부터 구한 계수이고 다른 것은 위의 쌍곡선법에서와 동일하다.



<그림 4-3> 평방근법에서 계수의 결정법

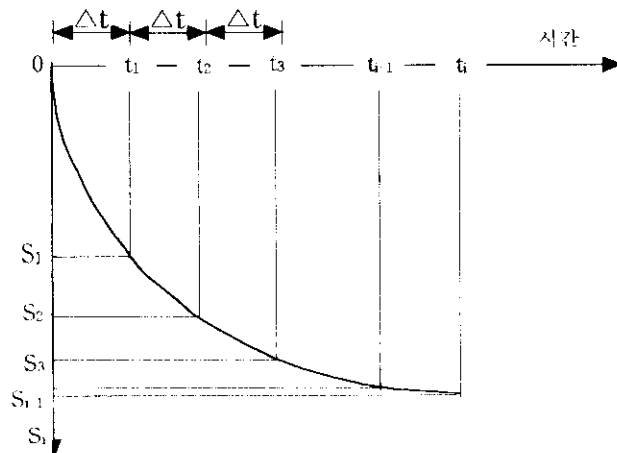
성토종료 직후 t 시간동안의 실측 침하량을 기본으로 하여 $t/(S_i - S_0)^2$ 을 계산한 다음 <그림 4-3>과 같이 $t \sim t/(S_i - S_0)^2$ 의 관계를 도시하여 A, K 의 값을 결정하고 최종침하량(S_f)은 $t \rightarrow \infty$ 로 놓으면 구할 수 있다.

4.2.3 직선법(Asaoka Method)

아사오카는 1차원 압밀방정식에 의거 하중이 일정할 때의 침하량을 나타내는 특성방정식으로 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$S_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot S_{i-1}$$

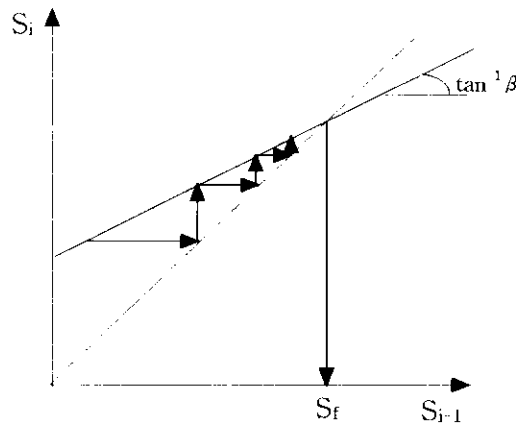
여기서 S_i 는 시간 t 를 이산화하여 $t_i = t \times i (i=1, 2, 3, \dots)$ 로 할 때 시간 t_i 에서의 침하량이고 S_{i-1} 는 시간 $t_{i-1} = \Delta t \times (i-1)$ 에서의 침하량을 말하며 β_0 과 β_1 은 실측 침하량으로 구한 계수이다.



<그림 4-4> 실측 침하량의 시간적 변화도

최종 침하량은 위의 특성방정식을 이용하여 다음과 같은 방법으로 구한다.

- 1) <그림 4-4>와 같이 실측침하량 시간적 변화도로부터 동일한 시간간격(Δt)에 대응하는 침하량 $S_1, S_2, \dots, S_{i-1}, S_i$ 를 구한다.
- 2) 다음에는 S_{i-1} 과 S_i 를 축으로 하는 좌표상에 $(S_1, S_2), (S_2, S_3), (S_{i-1}, S_i)$ 를 점을 찍어 연결하면 <그림 4-5>와 같이 특성방정식을 의미하는 하나의 직선이 얻어진다.
- 3) 최종침하량은 위에서 구한 점들을 연결한 직선과 $S_i=S_{i-1}$ 인 직선(45° 선)의 교점으로부터 도식적으로 구할 수 있다.



<그림 4-5> 아사오카 법에 의한 최종침하량 산정

4.2.4 침하관리방법의 비교분석

위에서 설명한 여러 침하관리방법은 가정 조건에 따라 각각의 고유특성을 가지고 있으나 양질의 정련된 계측자료인 경우, 방법론에 의한 큰 문제점은 없다. 따라서 어느 방법을 사용할 것인가 하는 것보다 얼마만큼 정확한 계측자료를 얻는가에 따라서 그 중요성이 부각된다. 쌍곡선법을 이용하는 경우에는 현장계측자료를 읽은 값 그대로 사용하여 분석을 실시할 수 있는 반면 압밀속도를 정량적으로 알아내기가 곤란하다. 반면 아사오카 방법을 사용한다면 압밀속도를 계산식에 의해 정량적으로 알아낼 수 있지만 현장계측을 등 시간간격으로 설정해야 하는 이유 때문에 현장계측 시점이 정확하게 동일 시간간격으로 이루어지지 않았다면 불가피하게 현장에서 계측된 값을 1차적으로 재가공하는 과정을 거쳐야 한다는 단점이 있다.

따라서 이들 방법의 특성을 정확하게 이해한 후 원하는 정보를 얻고자 할 때

■ 기술자료

이에 가장 적절한 방법을 선정하여 적용하는 것이 바람직 할 것이다. 이와 같은 침하관리 방법의 특징을 간략하게 정리하면 [표 4-1]과 같다

[표 4-1] 침하관리방법의 특징

침하관리방법	특 징
쌍곡선법	· 경험적인 방법 · 2차 압밀침하량이 고려안됨 · 계측기간이 짧은(수개월) 경우 예측이 편리
평방근법	· 이론적이지 못함 · 2차 압밀침하량이 고려안됨 · 쌍곡선법이나 직선법에서 침하특성방정식을 찾기 곤란할 때 이용하면 유리한 장점이 있음
직선법	· 유한차분식의 특성방정식으로부터 이론적 또는 도해적으로 최종침하량과 장래침하량을 예측할 수 있음 · 도해법을 사용하는 경우 이해가 용이 · 단계별 성토 재하시에도 현장 계측을 충분히 하는 경우, 각 단계별 하중에 대한 침하거동을 분석 할 수 있음 · 압밀속도를 역해석 할 수 있음

5. 안정관리

성토하중에 의해 지반내 변형이 일어나면 이는 압밀에 의한 지반침하나 전단 변형의 2가지 원인으로 나뉠 수 있다. 이를 판단하기 위해 하는 것이 안정관리이며 침하관리와 함께 성토에 의한 연약지반처리시 매우 중요한 요소이다. 따라서 성토하중의 증가가 지반의 강도증가와 정확히 균형을 이루도록 성토속도를 조절 하는 것이 가장 합리적인 시공법이며 이와 같은 시공을 행하는 것이 안정관리의 목적이라 하겠다.

연약지반 성토시공시 안정상태로 시공할 수 있는 성토속도로는 유기질토 지반에서는 3~5cm/day, 점성토 지반에서는 5~10cm/day(일본의 고속도로 성토) 라고 한다. 그러므로 성토의 시공에 있어서는 이러한 속도로서 성토를 시작하여 시공중의 현장계측결과를 기초로 안정관리를 실시하여 성토속도를 조절해 나간다. 즉, 현장계측결과 불안정한 징후가 보이면 시공을 중단하고 방치기간을 두어 안정화

가 확인되면 시공을 재개하나 여전히 불안정한 상태가 계속되어 파괴의 우려가 있을 때에는 신속히 성토하중 경감 등의 대책을 세우는 동시에 필요에 따라 확인 보링이나 안정해석 등을 실시하여 본격적인 대책을 강구한다. 반대로 안정관리에 의해 안정에 충분한 여유가 있다고 판단될 때에는 성토속도를 빠르게 한다.

이상과 같이 안정관리의 성패를 좌우하는 것은 성토나 지반의 파괴 또는 불안정의 징후를 어떻게 정확히 예측할 수 있는가 하는 점이다. 안정관리 방법의 개념은 성토하중에 의해서 지반내에 생기는 현상은 압밀과 전단이 복합된 것이며 압밀이 전단보다 우세하면 지반은 안정상태가 되고, 거꾸로 전단이 우세하면 불안정한 상태가 된다는 것이다. 성토의 안정이란 성토하중과 지반강도의 균형으로 이루어지므로 이것들을 직접 관리할 수 있다면 좋겠지만, 그것은 실제 계측기술상 대단히 어려우므로 비교적 계측이 쉬운 침하나 변형에 근거한 안정관리의 방법이 널리 이용되고 있다.

5.1 정성적 지표에 의한 안정관리방법

성토나 지반의 파괴 또는 불안정상태의 정성적 경향으로는 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

- 1) 성토의 천단면이나 사면에 가는 균열(hair crack)이 발생한다.
- 2) 성토중앙부 침하가 급격히 증가한다.
- 3) 성토의 범선부근의 지반의 수평변위가 성토의 외측방향으로 급증한다.
- 4) 성토범선부근의 지반의 연직변위가 상방으로 급증한다.
- 5) 성토작업을 중지하여도 3), 4)의 경향이 계속되고, 지반내 간극수압도 계속 상승한다.

그리고 이들의 경향이 침하나 변형의 측정치에서 어떻게 나타나는지를 살펴보기로 한다.

5.1.1 침하량

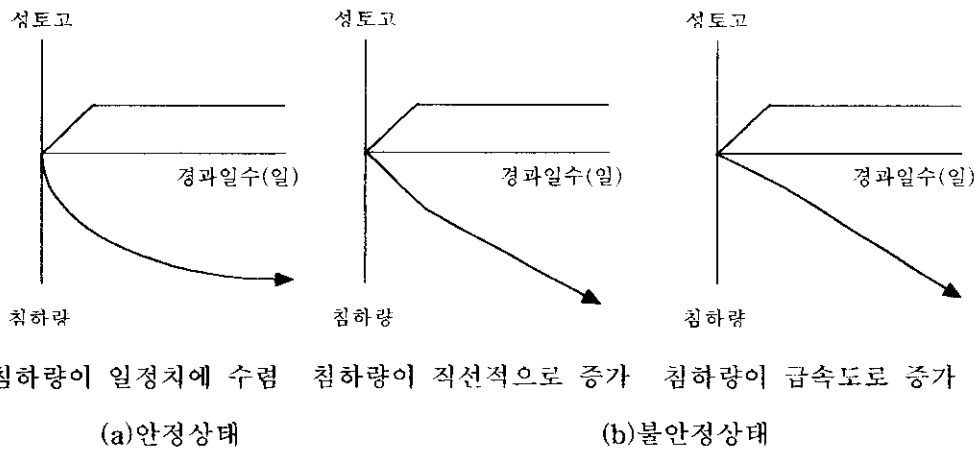
침하량은 지반이 안정되어 있으면 시간과 더불어 일정치에 수렴하는 경향을 보이나 지반이 불안정하게 되면 침하량은 시간과 더불어 직선적으로 증가하거나 침하속도가 급증하면서 파괴에 이른다.

5.1.2 지표변위량

지반이 안정되어 있으면 측방지반의 지표변위말뚝에 의한 수평변위량은 시간에 따른 변화가 거의 없거나 성토측으로 끌려 들어오는 경향을 나타내지만, 불안

■ 기술자료

정한 상태에서 지반의 수평변위량은 성토의 외측방향으로 일어난다. 한편 연직변위량은 안정상태에서는 시간적으로 거의 변화가 없거나 성토하중에 의한 압밀에 의하여 아래쪽으로 침하되지만 불안정상태가 되면 전단변형에 의해 위쪽으로 움직인다.



<그림 5-1> 침하량의 시간적 변화도

5.1.3 지중변위량

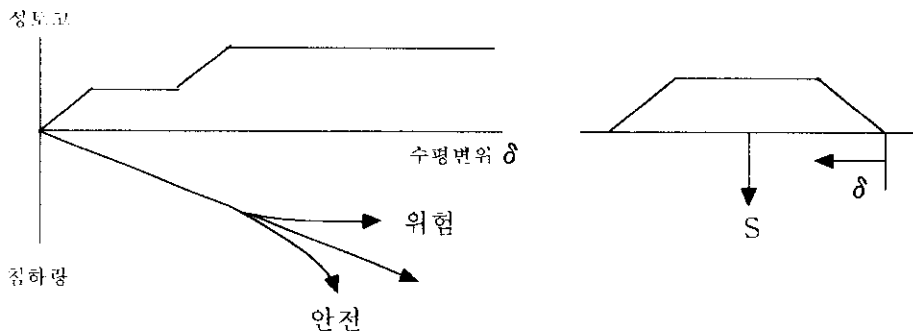
지반이 안정되어 있는 상태에서 경사계에 의하여 측정되는 지중변위량은 성토 내측으로 일어나지만 지반의 변화가 심하면 변위량의 시간적 변화는 성토의 외측 방향으로 밀리는 경향을 보인다. 결론적으로 안정관리에 있어서는 상술한 어느 한가지 측정치에 의한 판정보다는 이러한 모든 측정치의 경향을 종합적으로 분석하여 판단하는 것이 필요할 것이다.

5.2 정량적 지표에 의한 안정관리방법

현장계측결과를 이용하여 성토나 지반의 파괴를 정량적으로 예측하는 방법은 과거부터 적용하여 왔으나 여기서는 연약지반의 성토공사에 주로 사용되고 있는 정량적 안정관리방법을 기술하고자 한다. 여기서 관리의 지표가 되는 항목으로는 성토중앙부의 침하량(S)과 성토법선부의 수평변위량(δ), 성토하중(q)이며, 특히 연약층이 매우 두꺼운 경우의 침하량은 안정에 관계되는 연약지반 상부층의 침하량을 적용하고, δ 는 성토 법선부의 지표변위 중 최대변위를 나타내는 측정치로 하고 성토 내측방향의 변위를 정(+)으로 한다.

5.2.1 S- δ 관리기준(Tominaga-Hashimoto 법)

<그림 5-2>와 같이 연약지반상의 성토공사시 성토중앙부 직하의 침하의 증가에 비해서 성토사면 선단의 수평변위량의 증가가 일정한 비율 초과할 경우 지반이 불안정하다고 경험적으로 제안된 방법으로서 S- δ 의 관계를 그래프로 나타낼 때 하중이 작고 안정한 상태에서는 구배가 직선적인 관계에 있으나 하중이 커져서 침하보다 수평변위량의 거동이 커지면 위험상태라고 판단하며 반대로 수평변위량보다 침하의 거동이 커지면 안정하다고 판단한다.

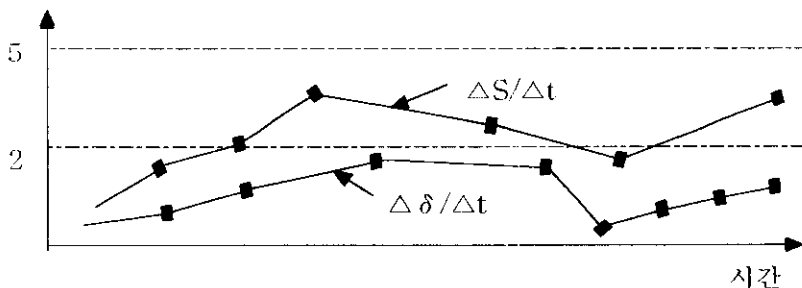


<그림 5-2> S- δ 관리도

5.2.2 $\Delta\delta/\Delta t$ - t 관리기준(Kurihara 법)

성토사면 선단부의 수평변위속도($\Delta\delta/\Delta t$)와 연직침하속도에 착안, 안정관리를 행하는 방법으로 측정치로부터 [$\Delta\delta/\Delta t$ -t]와 [$\Delta S-\Delta t$] 사이의 관계를 그려 $\Delta\delta/\Delta t$, $\Delta S-\Delta t$ 가 어느 한계치를 초과하면 위험하다고 판단한다.

Kurihara에 의하면 $\Delta\delta/\Delta t$ 의 값이 2cm/day, $\Delta S-\Delta t$ 의 경우 5cm/day를 초과하면 위험하다고 보아 이 값을 초과하지 않도록 성토속도를 조절함으로써 안정한 성토가 가능하였음을 보고하였다.

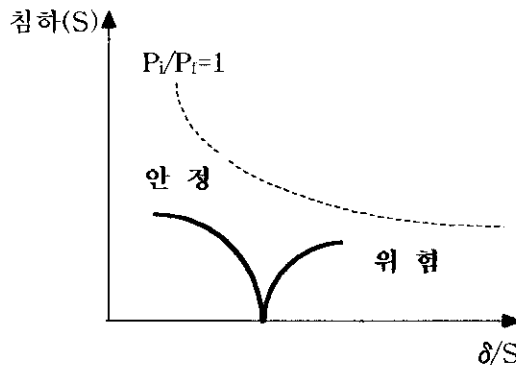


<그림 5-3> $\Delta\delta/\Delta t$ -t 관리도

■ 기술자료

5.2.3 S- δ /S 관리기준(Matsuo-Kawamura 법)

Matsuo-Kawamura는 일본국내의 성토파괴사례를 조사하여 파괴시의 S와 δ /S와의 관계를 정리한 결과 파괴는 거의 일정한 곡선에 도달하면서부터 발생한다는 사실에 착안하여 이 곡선을 파괴기준선이라고 하고, 성토시공중 S- δ /S의 궤적이 이 곡선에 접근하면 위험하고 멀어지면 안정하다고 판단하였다.



<그림 5-4> S- δ /S 관리도

이 곡선에서 P_i 는 파괴시 성토험중을 나타내고 P_f 는 임의시점에서 성토험중을 나타내는데 $P_i/P_f=1$ 이면 파괴기준선이 되고, $P_i/P_f=0.8, 0.9$ 는 파괴시의 하중에 대해 80%, 90%에 도달하고 있음을 의미하게 된다.

6. 연약지반상 성토공사 계측관리용 프로그램 개발

6.1 프로그램 소개

GEMP/W : Geotechnical EMBankment Program for Windows 95/98 (version 1.0)

본 프로그램은 연약지반상의 성토관리에 있어 설계치와 실제 계측치간의 불일치로 인한 문제를 여러 계측기의 계측자료를 가지고 지반의 안전성과 압밀 진행상태를 수치로 확인하고 관리하기 위해 개발하였다.

이 프로그램은 Visual C++ 5.0 으로 짜여졌으며 특징은 다음과 같다.

- 1) 프로그램의 운영체제로 윈도우(Windows)를 이용하여 사용자가 보다 편리하게 사용할 수 있고 시각적 효과도 좋도록 하였다.

- 2) 침하관리의 경우, 위에서 설명한 쌍곡선법, 평방근법 및 직선법을 포함하였고, 안정관리의 경우에는 Kurihara-Ichimoto법 Tomigana-Hashimoto법, Matsuo-Kawamura법을 포함하여 비교, 사용할 수 있도록 하였다.
- 3) 경사계의 계측자료의 수신시 Soil Instrument, Geokon, RST사의 기종들을 모두 수신할 수 있도록 하였고, 진동현식 간극수압계의 경우도 Soil Instrument, Geokon, RST, Sinco사의 제품을 선택하여 사용할 수 있도록 하였다.
- 4) 연약지반 처리공법 중 프리로딩, 샌드드레인, 페이퍼 드레인의 개략적인 설계 계획을 할 수 있는 기능과 인공신경망 이론에 의해 현장자료의 학습에 의해 침하를 예측할 수 있는 기능도 추가하였다.
- 5) 설계시 자주 사용되는 물성치의 경우, 도움말에서 개략적인 값의 범위를 언급하여 보다 편리하게 사용할 수 있도록 하였다.

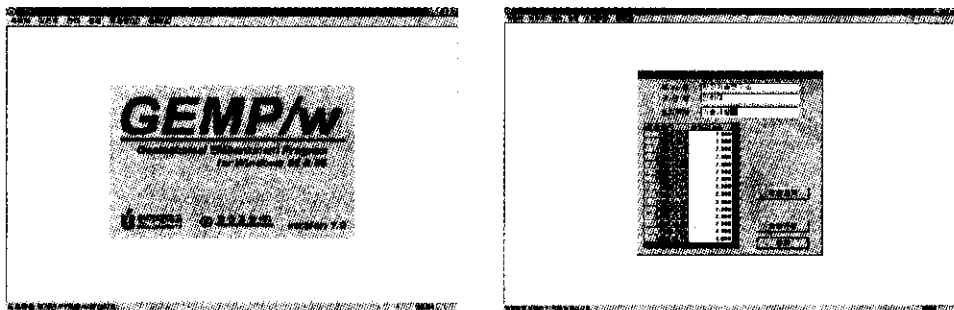
프로그램의 설치시 설치디스크를 삽입한 후 안내에 따라 쉽게 설치할 수 있고 실행 후 처음에는 계측 데이터의 입력경로를 설정해 주어야 한다. 다음 각 그림은 가상의 데이터를 가지고 설명한 것이다.

6.2 프로그램의 구조

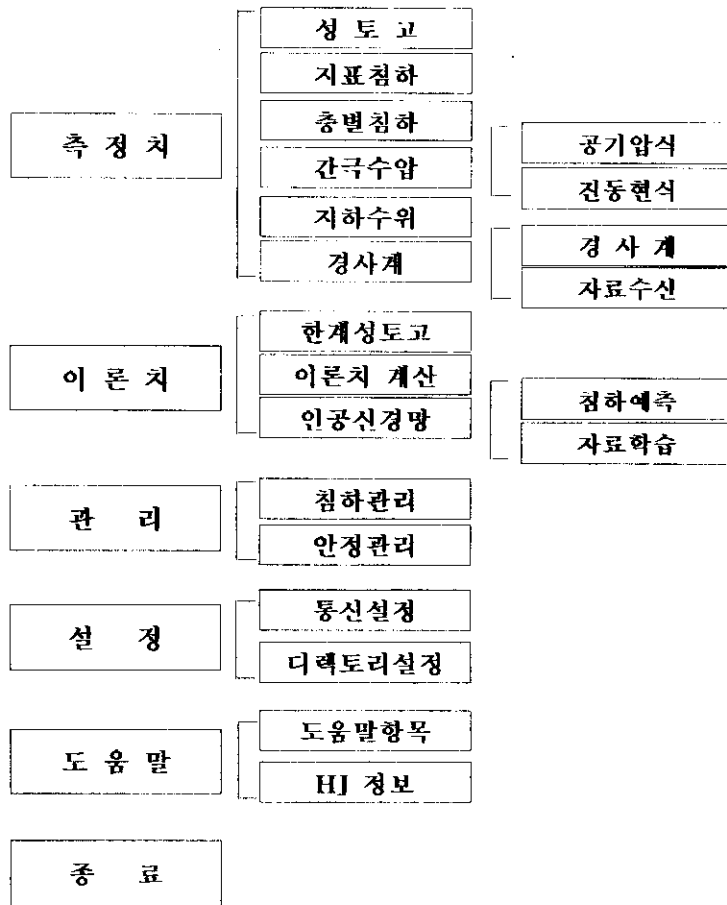
프로그램 메뉴의 구조는 <그림 6-2>과 같다.

6.2.1 측정치

계측기에서 받은 데이터를 프로그램 상에 입력, 또는 수신하는 부분으로 성토고, 지표침하계, 층별침하계, 간극수압계, 지하수위계는 계측자료를 입력하고 경사계의 경우 데이터를 입력, 또는 데이터 로거(logger)에서 데이터를 수신한다.



<그림 6-1> 초기화면과 성토고 입력



<그림 6-2> 프로그램 메뉴의 구조

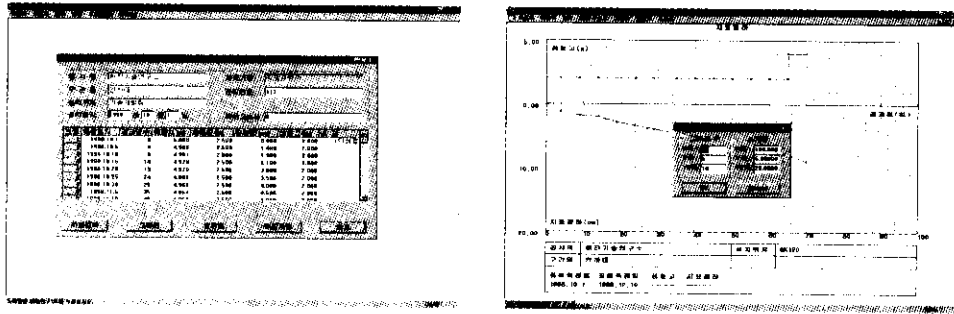
1) 성토고

[성토고] 메뉴를 선택하면 [열기] 대화상자가 나타난다. 대화상자에서 해당 성토고 파일을 열어 날짜 및 성토고를 입력/저장한다. 새로운 성토고 파일을 만들 경우에는 새파일.EMK를 선택하여 위의 입력사항과 아울러 현장명, 구간명, 설치위치를 추가로 입력한다.

2) 지표침하

[지표침하] 메뉴를 누른 후 [열기] 대화상자에서 해당 지표침하파일을 열어 날짜 및 지표침하량을 입력/저장한다. 새로운 지표침하 파일을 만들 경우에는 새파일.STL을 선택, 위의 입력사항과 아울러 현장명, 구간명, 설치위치, 관리번호, 지반고를 추가로 입력한다. [지표침하] 대화상자에서 그래프 버튼을 누르면 시간-침하량/성토고 관계를 그래프로 나타내며 지표침하 데이터 뿐만 아니라 본 프로그램의 모든 그래프 출력시 사용자의 기호에 따라 스케일 조

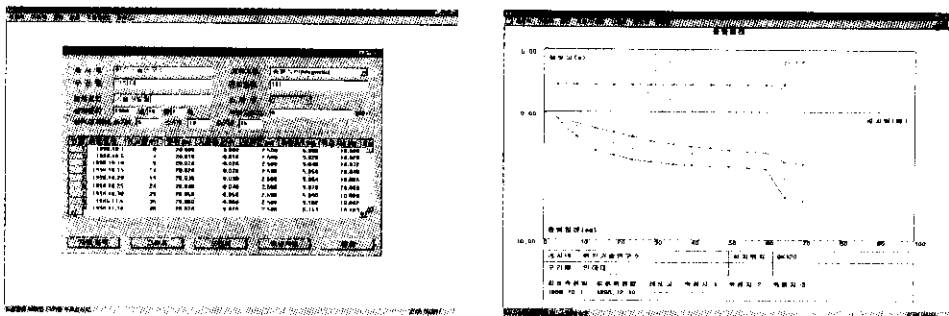
정이 가능하고 그래프가 그려진 상태에서 성토구간에서의 지반의 지층구성도를 편집, 저장할 수 있다.



<그림 6-3> 프로그램상 지표침하계 입력과 그래프

3) 층별침하계

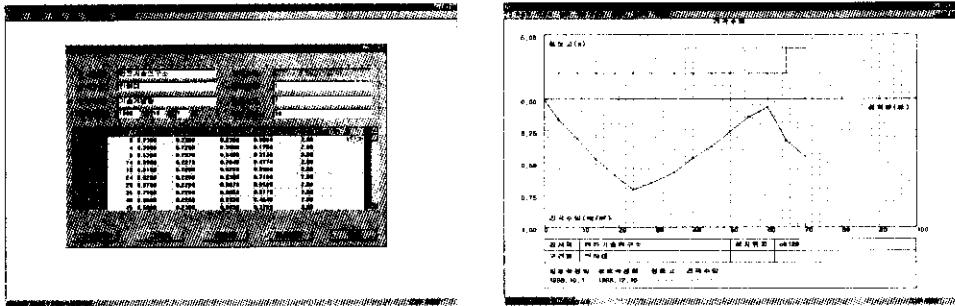
[층별침하계] 메뉴를 누른 후 [열기] 대화상자에서 해당 층별침하 파일을 열어 날짜 및 측정소자수에 따른 층별침하량을 입력/저장한다. 새로운 층별침하 파일을 만들 경우는 새파일.LTR을 선택하여 위의 입력사항과 아울러 현장명, 구간명, 설치위치, 관리번호, 지반고, 측정소자수, 계측기를 추가로 입력한다. 특히 계측기명을 입력할 경우 작동원리에 따라 마그네틱식과 막대식을 선택할 수 있도록 하였다. [층별침하계] 대화상자에서 그래프 버튼을 누르면 시간-층별침하량/성토고 관계를 그래프로 나타내주며 사용자의 기호에 따라 스케일 조정이 가능하다. 또한 그래프가 그려진 상태에서 성토구간 지반의 지층구성도를 편집/저장할 수 있다.



<그림 6-4> 프로그램상 층별침하계 입력과 그래프

4) 간극수압계

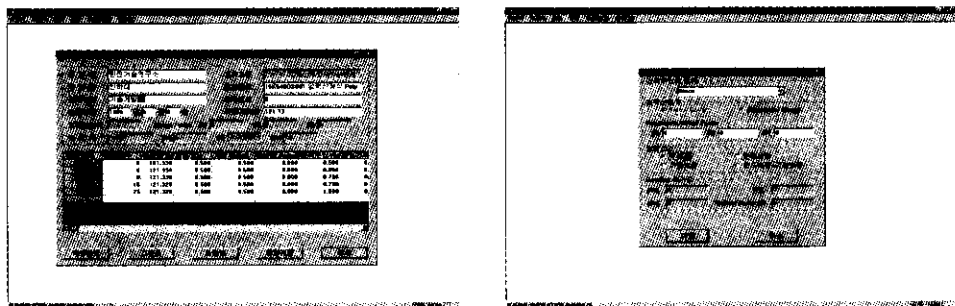
[간극수압계] 메뉴를 선택하면 공기압식과 진동현식으로 나누어져 있다.



<그림 6-5> 프로그램상 공기압식 간극수압계 입력과 그래프

가) 공기압식

[공기압식] 메뉴를 누른 후 [열기] 대화상자에서 해당 간극수압 파일을 열어 날짜, 측정치, 정수압을 입력/저장한다. 새로운 간극수압 파일을 만들 경우에는 새파일.AIR를 선택하여 위의 입력사항과 함께 현장명, 구간명, 설치위치, 관리번호, 지반고를 입력한다. [공기압식] 대화상자에서 그래프 버튼을 누르면 시간-과잉간극수압/성토고 관계를 그래프로 나타내준다.

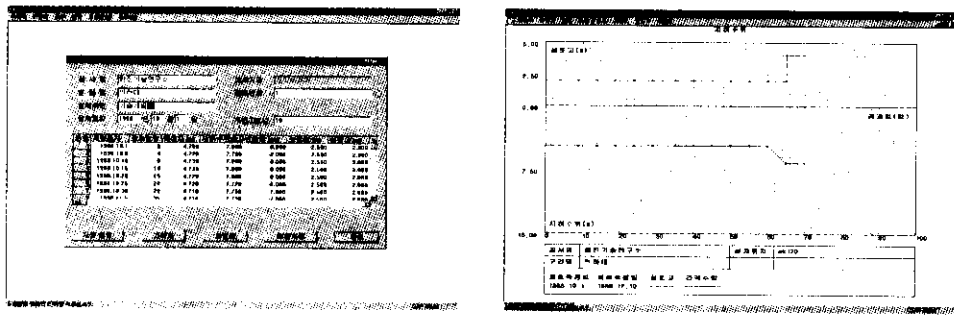


<그림 6-6> 프로그램상 진동현식 간극수압계 데이터 입력

나) 진동현식

[진동현식] 메뉴를 누른 후 [열기] 대화상자에서 해당 간극수압 파일을 열어 날짜 및 측정치, 정수압을 입력/저장한다. 새로운 간극수압 파일을 만들 경

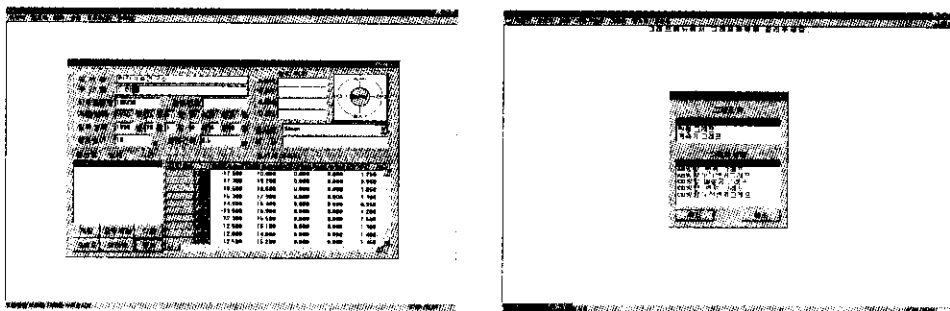
우에는 새파일.VIB를 연 후 위의 입력사항과 아울러 현장명, 구간명, 설치위치, 관리번호, 지반고를 입력한다. [진동현식 Calibration 셋업] 대화상자에서 계측기의 종류와 온도, 기압보정을 선택하고 계측기의 종류에 따른 압력 산정식, 계기별 상수를 입력한다. [다음] 버튼을 누른 후 [진동현식 대화상자]에서 현장명, 구간명, 설치위치, 관리번호, 지반고, 날짜, 측정치를 입력한다. 그래프 기능은 공기압식 대화상자와 같다.



<그림 6-7> 프로그램상 지하수위계 데이터 입력과 그래프

5) 지하수위계

[지하수위] 메뉴를 누른 후 [열기] 대화상자에서 해당 지하수위계 파일을 열어 날짜 및 지하수위를 입력/저장 한다. 새로운 지하수위 파일을 만들 경우에는 새파일.GWL을 선택하여 위의 입력사항과 아울러 현장명, 구간명, 설치위치, 관리번호, 지반고를 추가로 입력한다. [지하수위] 대화상자에서 그래프 버튼을 누르면 시간-지하수위/성토고 관계를 그래프로 나타낸다.



<그림 6-8> 프로그램상 경사계 데이터 입력과 그래프 선택

6) 경사계

[경사계] 메뉴를 누른 후 [열기] 대화상자에서 해당 경사계 파일을 연다. 이후 [자료수신] 대화상자에서 데이터 통신환경을 설정하여 경사계 로거(logger)로부터 데이터를 수신받게 되며 사용자가 전송받은 텍스트 파일에서 초기치 파일 및 초기치 데이터를 기준으로 한 이후 측정일자에 따른 경사계 데이터를 저장한다. [경사계] 대화상자에서는 현장명, 구간명, 설치위치, 관리번호를 추가로 입력하고 [프린트]메뉴를 누른 후 [그래프] 메뉴에서 아래메뉴항목인 [그래프종류]를 누르면 [그래프축 선택] 란에서 경사계 그래프를 선택한다. 그 결과로 {그래프방향} 란에 A-B방향 및 C-D방향 매설공 그래프, 변위그래프, 변위그래프, 누적변위그래프를 선택 및 PLOT하도록 하였다.

6.2.2 이론치

이론치 계산에는 한계성토고, 이론치계산, 인공신경망의 메뉴가 있으며 각 사용법은 다음과 같다.

1) 한계성토고

Michalowski(1992)에 의해 제안된 상한계이론을 적용하여 비균질 점성토 지반상의 성토고를 추정한다. 우선 [이론치] 메뉴를 누른 후 아래메뉴인 [한계성토고]를 선택한다. 대화상자의 입력란에 지반의 물성치를 입력하고 [계산] 버튼을 누르면 한계성토고가 구해진다.

2) 이론침하계산

무처리공법과 프리로딩공법을 사용했을 때 연직드레인을 사용했을 때 3가지가 있으며 그 사용법은 다음과 같다.

[이론치 계산] 메뉴를 누른 후 지반개량공법중 하나를 선택하고 배수조건을 고려한다. 대화상자 입력란에 지반조건 및 물성치를 입력한 후 [다음] 버튼을 누르면 새로운 대화상자가 열리고 계산항목을 선택하고 [계산] 버튼을 누르면 설계하중에 의한 침하량 산정 및 압밀도와 경과시간이 산정된다. [그래프] 버튼을 누르면 경과시간에 따른 이론-침하 곡선을 PLOT한다

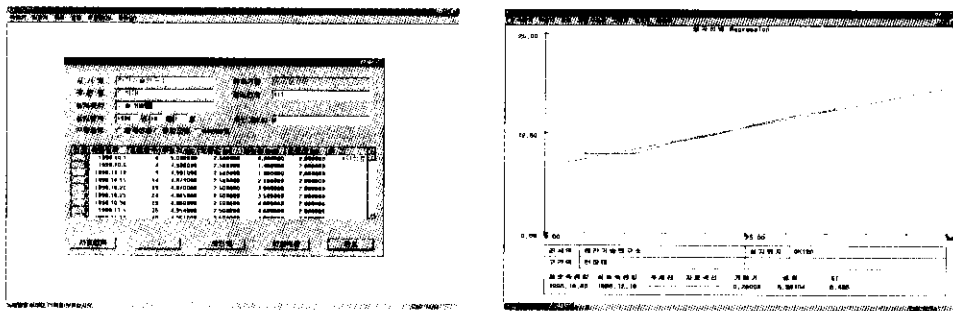
3) 인공신경망

인공신경망 이론을 적용한 오판역전파 학습알고리즘을 이용하여 침하량을 예측하는 방법이다. [인공신경망] 메뉴를 누르고 아래메뉴인 [자료학습] 메뉴를 선택한다. [열기] 대화상자에서 해당 자료학습 파일을 선택한 후 열린 대화상자에서 지반의 물성치 및 침하자료를 입력한다. [실행하기] 버튼을 누른

후 컴퓨터에 학습시킨다. 그 후 다시 [인공신경망] 메뉴를 누르고 아래메뉴인 [침하예측] 메뉴를 선택한다. [열기] 대화상자에서 해당 예측침하 파일을 선택한 후 열린 대화상자에서 지반의 조건 및 물성치를 입력한다. [실행하기] 버튼을 누르면 자료학습을 바탕으로 한 인공신경망에 의해 공사초기에 침하량이 예측된다

6.2.3 관리

관리에는 침하관리와 안정관리 항목이 있으며 사용법은 다음과 같다



<그림 6-9> 프로그램상 침하관리 데이터 입력과 그래프

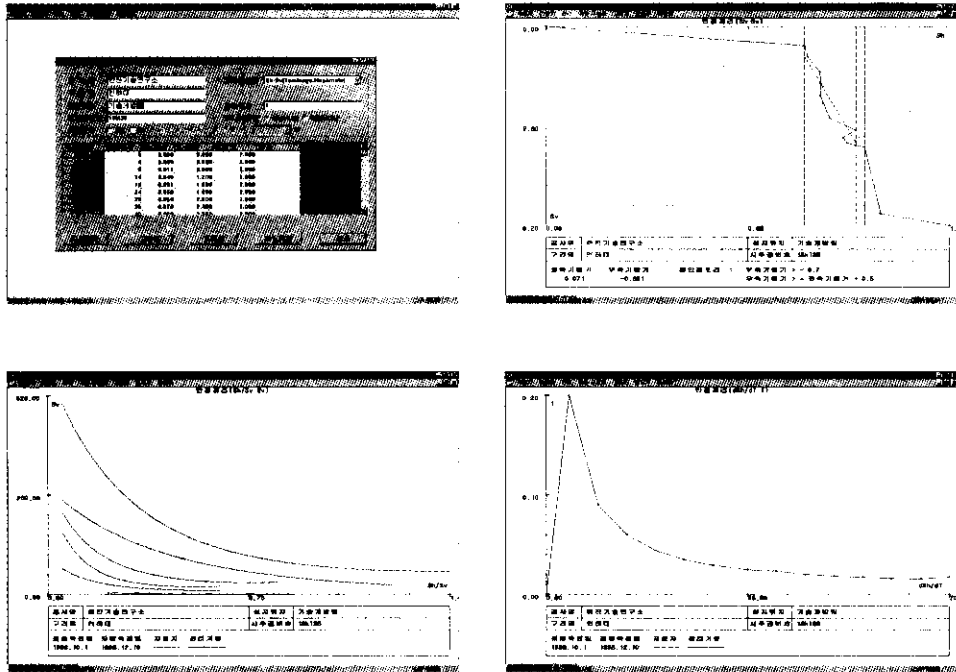
1) 침하관리

[관리] 메뉴에 놓고 아래메뉴인 [침하관리] 메뉴를 선택하면 [열기] 대화상자가 나타난다. 장래의 침하를 예측하고자 하는 파일을 선택하면 [침하관리] 대화상자가 나타나며 사용자가 원하는 장래 침하량 예측기법을 선택할 수 있다. [침하관리] 대화상자에서 원하는 방법을 선택하고 [그래프] 버튼을 누르면 시간-침하량/성토고의 관계가 그래프로 출력된다. 예측하고자 하는 시작점을 누르면 위치를 확인하는 메시지가 나오고 [예]를 누르면 세로축과 가로축이 각 방법에서 사용되는 축이 나오고 최소자승법에 의한 회귀직선과 최종 예상 침하량이 나온다.

2) 안정관리

안정관리기능은 침하변위와 수평변위에 대한 실측치를 시험성토 및 과거의 경험을 토대로 안정관리의 기준치를 이용하여 지반의 안정성을 판정할 수 있다. [관리] 메뉴에 놓고 [안정관리] 메뉴를 선택하면 [열기] 대화상자가 나타난다. 안정성을 판단하고자 하는 파일을 선택하면 [안정관리] 대화상자가 나

타나며 사용자가 원하는 안정관리법을 선택할 수 있다. 또한 새로운 안정관리 파일을 만들 경우에는 [열기] 대화상자에서 새파일.STA를 선택하고 현장명, 구간명, 설치위치, 관리번호, 지반고, 수평변위, 연직변위를 입력/저장한다.



<그림 6-10> 프로그램상 안정관리 데이터 입력과 그래프

6.2.4 설정

[설정] 메뉴에는 [통신설정]과 [디렉토리 설정]이 있으며 디렉토리 설정은 초기 프로그램의 실행파일을 컴퓨터에 셋업한 후 실행시 꼭 해 주어야 하는 것으로서 각 데이터의 디렉토리를 설정해준다. 통신설정은 경사계의 데이터를 수신할 때 경사계 종류, 통신포트, 통신속도, 데이터비트, 패리티, 정지비트를 정해주는 것이다.

6.2.5 도움말

도움말에는 [도움말 항목]메뉴와 [HJ 정보]메뉴가 있는데 도움말 항목에서는 프로그램에 관한 정보나 흙의 종류에 따른 개략적인 기본 물성치를 알고자 할 때 도움말을 이용하여 원하는 정보를 찾는다. HJ 정보에서는 프로그램의 등록정보를 설명하고 있다.

T.T.M.(Tracked Tunnel Machine)공법

적용 사례 연구

한진중합건설 서울지하철 7-20공구현장 차장 박종현

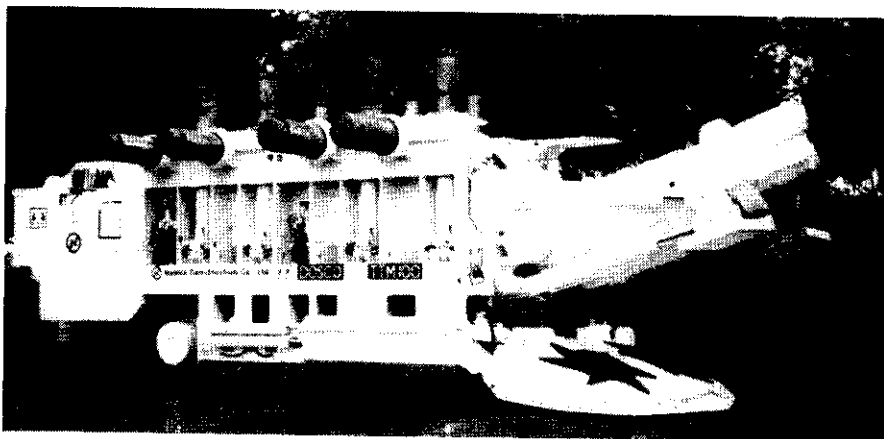
1. 서 론

1.1 TTM의 적용배경

TTM(Tracked Tunnel Machine)은 재래의 천공 및 발파를 반복하는 시공과는 달리 부진동, 무발파로 굴착하는 전단면 터널굴착기계이다. TTM에 의한 터널시공은 굴착면에 상응하는 다양한 단면으로 굴착되므로 역학적으로 안정되고, 기계화 굴착이므로 지산 변형을 최소화 할 뿐만 아니라 비발파작업으로 안전하고 청결한 갱내 작업환경을 확립한 최신 터널 굴착 공법이다.

최근 본 공법의 필요성은 국내 건설시장이 경제사회의 발전과 국민복지시설 확충에 따라 도로, 철도, 지하철 등 교통망의 확충, 수자원이용, 전력통신망 등 터널 수요가 급격히 증가하고 있으나 용지보상비의 과다, 터널 노무인력 확보의 어려움, 교통체증, 각종 민원발생 등으로 기존공법이 그 한계에 이르렀으며, 구미 선진국에서는 산업재해 및 자연보호 측면을 고려하여 기계화 굴착공법이 보편화되고 있다.

기존 기계화 굴착 장비로는 Road Header와 TBM 등이 있으나 각 장비마다의 절정적인 단점이 실제 시공을 불가능하게 하는 경우가 있어 두 장비의 장점만을 취해 새로 TTM 이라는 장비가 탄생하였다.



1.2 TTM의 발전과정

터널 굴착 공사는 1867년 다이내마이트 발명으로 화약에 의한 발파공법의 발전과 더불어 기계식 굴착 방법, 즉 회전하는 Cutter Head에 장착된 끝 타입의 Cutter를 이용하여 토사, 연암을 굴착하는 기계적인 굴착방법이 개발되어 왔다.

최초로 만들어진 암반용 굴착장비는 “Maus-Machine”으로 1846년 벨기에의 엔지니어인 M.J. Maus가 설계 제작하여 실용화되지는 못했지만 기계식 굴착 장비의 선구자라 할 수 있다. 이후 기계식 굴착의 실용화는 1881년 영불해협 조사갱 굴착에 사용코자 영국에서 최초로 시도된 이래 초기에는 Bit의 회전력을 이용한 절삭식이 개발되었으나 압축강도가 높고 마모성이 강한 암질에서 적응성 및 경제성이 없었다.

1960년대에 이르러 Teeth형 및 우두형의 Cutter를 장착하여 압축력 및 회전력을 이용한 압쇄식 TBM의 개발로 극경암까지 굴착할 수 있는 능력을 발휘 터널굴착기술의 획기적인 전기를 마련하였으며, 1970년대 사갱 굴착용 및 확대 굴착용 TBM(TBE)의 개발로 TBM의 광범위한 적용을 진일보 시켰다.

최근까지는 토사에서 극경암까지 광범위한 지질에 적용할 수 있는 다양한 TBM이 개발되어 전단면 터널굴착기에 의한 터널굴착공법은 천공 및 발파공법을 대신하였으며, 전세계적으로 야기되는 인력부족 등이 보다 진보된 기계식 터널 굴착 공법을 지속적으로 증가시켜 주고 있다. 그러나 TBM은 터널의 단면이 원형이고, 터널 크기가 고정되기 때문에 다른 크기의 터널에서는 쓸 수가 없다. 또한 장비가 대형이므로 운송 및 설치, 해체 및 보관이 어렵고 많은 시간을 소요할 뿐만 아니라 굴착시공 작업에서도 암반의 상태변화에 따른 굴착작업의 적응이 어려우며 장비의 후퇴가 불가능 하는 등 많은 어려운 점을 가지고 있다. Road Header는 자유단면을 굴착할 수 있으며 장비에 제도가 있어 스스로 전후 이동이 가능한 장점이 있으나 굴착 작업시 장비를 고정하는 장치가 없어 굴착·굴진력이 떨어지며 장비 운전원이 수동으로 터널을 굴착하기 때문에 매 굴착마다 터널 단면의 크기가 달라지는 단점이 있다.

이러한 기존 기계화 굴착장비의 단점 때문에 실제 터널 공사에서 기계화 굴착이 널리 활용되지 못했고, 특별한 경우(발파공법이 도저히 곤란한 지역)에만 장비의 불편함을 감수하면서 사용되어왔다. 하지만 기계화 시공의 수요는 점점 더 늘어나고 있으며, 이를 효과적으로 지원할 수 있는 새로운 장비의 필요성에 부응하여 개발된 장비가 바로 TTM인 것이다. TTM은 Road Header의 장점인 장비 이동성, 자유단면굴착능력과 TBM의 장점인 경암굴착능력, 일정한 터널단면굴착 등의 장점을 지니고 있어 기계화 시공의 새로운 전기를 마련하고 있다. 특히 컴퓨터

에 의한 제어를 통해 배 굴착시 항상 같은 단면으로 정확히 굴착할 수 있게 되어 있다.

1.3 TTM의 도입목적 및 적용구간 개요

당사는 현재 국내에서 적용되고 있는 반파식 NATM공법에 의한 터널 건설시 공사기간의 장기화, 공사비의 과다, 반파로 인한 인근지역에 대한 보상, 극심한 교통장애, 소음과 먼지 등 많은 문제점을 해소하고, 특히 민원으로 인한 공사 중단의 문제를 해결하기 위하여 기존의 TBM과 신형상비 TTM을 검토한 결과, 터널 및 지하굴착사업의 공법개선과 활성화를 도모하기 위하여 터널 굴착기 전문 제조사인 영국 DOSCO사의 TTM-100을 선정하고, 타당성 검토와 기술검토를 거쳐 1996년 국내 최초로 TTM을 도입, 적용하였다.

TTM 적용구간은 서울 지하철 7호선 20공구 건설공사(강남고속터미널~남성사거리) 중 공사시점인 강남고속터미널에서 국립도서관을 경유하여 본선 개착시점인 황실아파트까지의 터널(L=1,820m)을 TTM장비를 이용하여 선진도갱으로 굴착한 후 확대발파에 의해 터널을 굴착을 완성하는 공사로, 민원 구간을 무발파, 저진동으로 시공하였다.

1.4 TTM 도입과정

1.4.1 당초의 터널 굴착장비(TBM)의 문제점

- 1) TBM 반입, 반출구의 지반이 풍화암, 풍화토 구간으로 지반이 불안정하고
- 2) TBM의 부대시설(수정설비, 정비실, 급수시설 등)을 위한 부지 확보가 어렵고
- 3) TBM의 반입, 반출에 따른 장기간의 교통관련 민원 발생이 예상되고
- 4) TBM 장비 굴착중 문제 발생시 공법 변경이 불가능하며
- 5) TBM의 장기 사업계획상 지하철 7-20공구의 투입시기 조정이 불가능한 실정임.

1.4.2 TTM 장비의 선정

- 1) 단면 형성에 대한 적응성이 뛰어나 선진도갱 또는 전단면 굴착이 가능하고
- 2) 기계식 굴착으로 여굴 및 주변암반의 이완영역을 최소화 할 수 있으며
- 3) 당초 TBM 굴착에 의한 효과 도모가 가능하고
- 4) TTM 장비의 투입이 본선 개착시점(황실APT) 외에도 가능하며
- 5) TTM 장비 굴착도중 문제점 발생시 공법 변경이 용이하고
- 6) 토사층부터 경암층까지 굴착이 가능하다.

2. TTM공법의 개요

2.1 TTM 쿨착

TTM의 굴착방식은 Cutter의 회전력과 압축력을 이용한 압쇄식 굴착방식이 사용되며 최초에는 장비 전면을 향해 Cutting Head의 깊이 만큼 Sumping 굴착후에 전단면 굴착은 미리 Computer에 입력된 터널단면에 따라 Cutting Head를 자동으로 제어하여 항상 일정한 단면을 굴착한다. 또한 다양한 지질 강도에 따라 절삭속도를 즉각 변화시킬 수 있어 최대한의 시공안전과 장비보호를 할 수 있는 장점이 있다.

2.1.1 굴착원리(압쇄식)

Cutting Head에 배열 장착된 각 Pick는 두 가지 Type이 있으며 각각 압축력을 가하면서 회전시키면 Pick가 굴착 단면에 힘을 가해 그 힘이 암석의 강도를 초과할 때에 암이 파쇄된다. Cutting Head에 정밀하게 배열 장착된 Pick는 Cutting Head가 회전함에 따라 가장자리 쪽으로 암을 압쇄하여 순차적으로 암면에 자유면을 발생시켜 굴착능력을 배가시켜 준다.

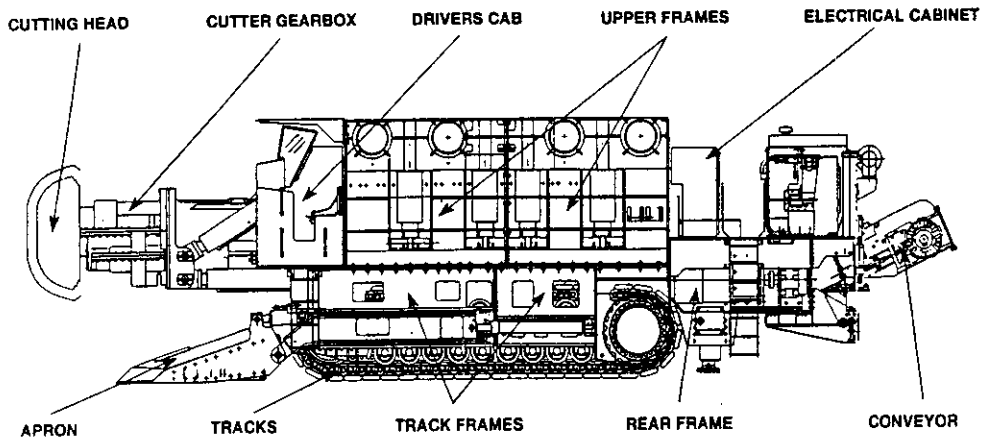


<사진 2-1> 굴착중인 TTM

<사진 2-2> TTM에 의해 골착된 암면

2.1.2 주요 상치의 구조 및 기능

TTM은 장비 본체만으로 이루어져 있으며 굴착작업을 위하여 전기, 용수, 환기 등의 설비를 갖추어야 한다. 또한 버럭 적재를 위한 장비나 설비도 필요할 것이다. 다음 그림은 TTM의 구성도이다.



<그림 2-1> TTM의 구성도

1) Cutting Head

Cutting Head에는 배열 장착된 각종 Pick들의 압축력과 회전력에 의해 암석을 압쇄시켜 파쇄하여 터널을 굴착한다. Cutting Head의 회전속도는 분당 3.5 ~ 10.5회전까지 암질에 따라 선택할 수 있는 150kW의 Cutting Motor로 구동된다. Cutting Motor는 Boom에 장치되어 있으며 Boom은 전단면 굴착을 위해 Computer 제어를 받아 나선형으로 회전하며 그 힘은 28톤에 달한다. 굴착은 매 0.5m 단위로 전단면을 굴착하며 2회 굴착 후 매 1m 단위로 TTM을 전방으로 이동하여 다음 굴착을 행한다.

2) Track

Track은 TTM을 전진, 후진, 방향 조정 등을 행할 수 있는 TTM의 특징이다. 저속모드에서는 분당 0 ~ 4m, 고속 모드에서는 0 ~ 12m를 이동할 수 있다.

3) Staker

Staker는 장비의 측면과 상부좌우에 각각 4개씩 16개가 있으며 TTM의 굴착시에 장비본체를 지지하며 본체의 진동을 감소시키고, 터널 벽면의 낙반을 방지하는 효과가 있으며, 특히 장비의 굴착력을 증가시킨다. 각 Staker는 개당 25톤의 지지력을 가지며 1m 이내의 벽면이나 천장을 지지한다.

4) Apron과 Gathering Gear

3.5m 너비의 Apron은 굴착작업에서 발생하는 버럭을 수집하여 Conveyor에 적재하는 역할을 수행하며 상하로 0.7m 앞뒤로 1m를 움직일 수 있어 전방

의 버력을 쉽게 처리할 수 있도록 되어있다.

5) Conveyor

장비 전면에서 발생된 버력을 상기의 Apron과 Gathering Gear로부터 받아 중앙하부의 Conveyor를 통해 장비 후방으로 방출하여 버력처리를 용이하게 하여 준다. 버력을 너비 0.59m 높이 0.4m 이내의 크기가 통과할 수 있으며 분당 54m의 이동속도를 가져 시간당 90m를 처리할 수 있다.

6) 자동 제어 장치

TTM에는 장비의 모든 움직임을 제어하는 PLC(Programmable Logic Controller)와 Profile용 Computer가 있으며 PLC는 각종 유압장치의 제어 및 감시를 하여 정밀한 운전과 장비의 오손을 방지하며 Profile용 Computer에는 전단면 굴착을 위한 Boom 움직임을 미리 예측, 저장하여 PLC에 지시함으로써 항상 같은 전단면이 자동으로 굴착되도록 되어있다.

7) 조종실

TTM 좌측 전면에 위치한 조종실에서 모든 장비의 조종을 행하며 바로 터널 단면을 관측할 수 있어 즉각적인 대응이 이루어진다.

2.1.3 굴착작업 순서

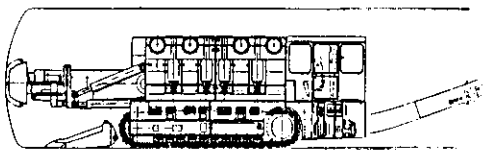
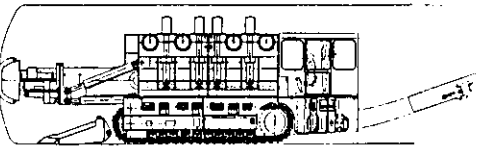
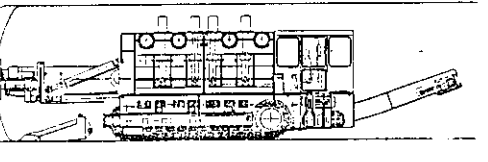
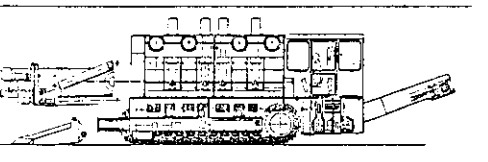
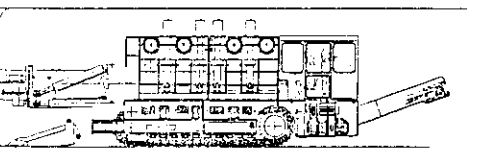
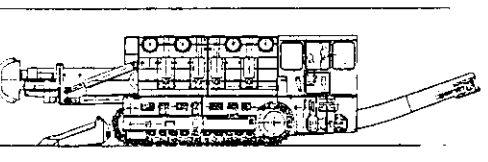
1) 굴착공정

TTM의 1공정(stroke)은 1m이며 매 공정마다 장비를 이동한다. 한 공정은 2회의 굴착(cutting)으로 1회에 0.5m를 굴착한다. 장비는 최초 벽면에 위치한 후 Staker를 사용하여 벽면에 장비를 단단히 고정한 후, 1차 Cutting을 위한 심빼기공을 0.5m 굴착(sumping)한 후, Computer에 내장된 Tunnel 단면(profile)을 따라 확대 굴착한다. 전 단면이 굴착된 후 다시 0.5m를 Sumping과 Profile Cutting을 하면 1 Stroke가 완성된다. 이후 Staker를 풀고 장비를 1m 전진(tracking)시켜 다음 Stroke를 시작한다.

2) 굴착 단면(Auto Custom Profile)

TTM이 목적하는 터널의 전단면 굴착은 직경 1.5m의 Cutting Head를 터널 단면의 중심에서 나선형으로 Boom이 벌어지며 시계방향으로 회전하므로써 굴착이 이루어진다. 이 Boom 움직임을 제어는 TTM에 탑재된 Profile용 컴퓨터에서 PLC를 제어하여 자동으로 Boom이 회전하며 굴착이 이루어진다. 이 컴퓨터에는 최대 10가지의 Profile이 내장 가능하다. 이때 암질에 따라 Cutter에 전해지는 압의 강도는 Cutting Motor의 부하전력량으로 나타나며 그에 따라 Cutting Speed를 변경하여 작업의 안전 및 과부하로부터 장비를

보호할 수 있다. 최대 Cutting 속도는 1,500mm/min이다.

	(1 단계) * 장비를 벽면에 이동 밀착 * Staker로 장비 고정
	(2 단계) 0.5m 심빼기 (Sumping)
	(3 단계) 전단면 확대 (Profile Cutting)
	(4 단계) 1m 심빼기 (Sumping)
	(5 단계) 전단면 확대 (Profile Cutting)
	(6 단계) * Staker 원위치 * 장비 이동 : 다시 1 단계로

3) 굴착 단면 크기

전단면 굴착은 1회 최대 구경 5.0m이상 6.5m까지의 터널시공시 사용하는 빈도가 가장 높으며 3m 이하의 소구경은 기계화 시공시 굴착속도는 빠르지만 버력지리 능 이와 연관된 작업을 처리하기에 공간이 좁아 어려우며, 높은 투자비용에 비해 기대효과가 매우 낮다. 6.5m 이상은 TBM이 선진도생

후 NATM 확대발파 공법이 굴착효과가 가장 크게된다. TTM에 의한 선진 도강은 장비가 굴진할 수 있는 최소한의 단면만 굴착하여 진동 및 소음을 감소하고, 터널 지반 이완영역을 최소화하여 안전한 기계굴착 시공을 할 수 있다.

2.1.4 TTM의 조종 및 운영

1) TTM 조종

교대조당 정·부 조종원 2명이 조종석에 설치된 각종 레버를 조종하며 설치된 각종 계기를 통해 기계상태, 암반상태 등을 파악하여 정밀하게 굴착 조종한다.

2) TTM의 선형 수정 및 Resetting

TTM은 1m의 1 Stroke를 굴진한 뒤 Track을 이용하여 전진하며 방향 수정이 이루어진다. 굴진 방향은 장비 후방에 설치된 Laser 광선과 측량점을 관측하여 Track 조종을 하여 방향 수정을 행한다. 필요하다면 장비를 완전히 후진시켜 측량할 수도 있다.

3) TTM의 운영

가) 장비의 굴진 능력을 극대화 할 수 있도록 2교대 또는 3교대 작업 체제로 운영한다.

나) 장비 가동 중 정기적으로 Pick의 이상, 마모를 검사하며 교환시기 등을 판단한다.

다) 굴진 중 암반상태를 검사하여 Rock Bolt 보강이 필요한 경우 TTM을 즉각 후방으로 빼고 Rock Bolt작업을 한 후 굴착한다.

4) 교대조당 작업인원 편성

구분	직종	인원	작업내용
순수 장비원	작업반장	1	작업지휘
	장비운전원	2	굴착운전 및 관리
	전공	1	장비 고압 전원 배선 및 관리
보조원	기계정비공	1	기계 및 유압 부문 정비능력 보유자
	특별인부	2	Pick 교환 및 정비관리
	보통인부	1	Pick 교환 지원 및 기타 지원

2.1.5 운반 및 조립 설치

1) Pilot 터널 설치

TTM은 상측 좌우와 측면 좌우에 있는 Staker에 의해 천장 또는 측벽 지지력을 이용 Cutting Head를 회전시켜 굴착하므로 최소 지지를 위해 10m 가량의 Pilot 터널을 준비해야 한다. Pilot 터널은 채석식 공법을 사용하여 장비보다 1m 내외의 여유공간을 확보하여 원형 또는 마제형으로 측벽 지지력이 충분하도록 형성한다.

2) 입구 작업장

TTM 조립 및 해체, 버럭처리 계획을 수립하고, 공간확보가 곤란한 도심지를 구분하며 현장의 여건을 감안한 아래표의 최소 공간을 확보하여야 한다.

산악지		시가지(수직구)			
폭×장(m)	면적(m ²)	폭×장(m)	면적(m ²)	직경(m)	면적(m ²)
10 × 15	150	6 × 15	90	14	154

3) TTM운반 및 조립

TTM 장비는 해체된 상태에서 가장 큰 것이 16ton이며 각 부위별로 운송이 가능하도록 분해, 조립할 수 있게 제작되어 있다. 운반된 각 부품들은 현장에서 조립장을 조성 조립완료후 전원을 투입하여 바로 Pilot 터널로 이동하면 굴착준비가 완료된다.

2.2 버럭처리

2.2.1 개요

Cutting Head에 의해 압쇄된 버럭은 TTM에 장착된 Apron과 Gathering Arm에 의해 Conveyor를 통해 장비의 후방으로 방출된다.

2.2.2 갱의 반출 방법

터널 막장에서 발생한 버럭은 TTM 후미의 Conveyor를 통해 페이로더나 덤프트럭으로 직접 받아 갱의로 반출 처리할 수 있으며 공간확보시 2 ~ 3일 정도의 버럭을 집하하여 순차처리 할 수 있다.

2.3 지보공

화약 발파에 의한 ASSM이나 NATM 공법은 암반의 이완영역이 30 ~ 130cm 정도 발생하여 대부분의 굴착면을 보강해야 하지만 TTM 공법은 지반을 이완시키는 일이 거의 없으며(30cm 내외), 역학적으로 안정된 원형구조 형성으로 연암, 풍화암, 파쇄대 등에서만 약간의 터널보강이 필요하다.

발파공법에 비해 TTM 터널의 경우 강지보가 약 30 ~ 40% 정도만 소요되면 되므로 공사비가 절감된다.

2.3.1 공법별 방법

구분	암질	TTM	TBM	NATM
1 회 굴진장	경암	1.0m	1.4m	1.5m
	보통암	1.0m	1.4m	1.2 - 1.5m
	연암	1.0m	1.4m	1.2 - 1.5m
	풍화암	1.0m	1.0m	1.0m
지보 방법	경암	-	-	Random Rock Bolt Shotcrete
	보통암	Random Rock Bolt Shotcrete	Random Rock Bolt Shotcrete	Random Rock Bolt Shotcrete Steel Rib
	연암	Random Rock Bolt Shotcrete	Random Rock Bolt Shotcrete	Random Rock Bolt Shotcrete Steel Rib
	풍화암	Random Rock Bolt Shotcrete Steel Rib	Random Rock Bolt Shotcrete Steel Rib	Random Rock Bolt Shotcrete Steel Rib

2.4 부대시설

TTM 공법에서 부대시설은 버력반출 시스템, 환기설비, 배수설비, 급수설비, 침전설비 외에 TTM 주동력인 고압 전력을 공급하기 위한 수전 설비가 필수적이다. TTM 굴진 능력을 실질적으로 살펴보면 부대설비에 의해 좌우되므로 고능률적인 부대설비가 TTM 굴진 능력을 향상시킨다. 당사는 TTM 도입과 더불어 근대화된 부대설비를 현장에 적용하여 TTM의 굴진 능력을 극대화하고 있다.

2.4.1 개요 설비

1) 수전 설비

한전 배전선로에서 전원(3상 4선식 22,900V)를 공급받아 자가용 수전 설비로 부하설비에 맞게 전압(3상 575V)으로 변화시켜 TTM 및 Back-up 전기설비에 전원을 공급하기 위한 설비를 말한다.

가) TTM 전원 공급

당사 TTM의 1차 전원 공급은 3상 3선식 575V를 사용하며 TTM이 굴진함에 따라 준비된 고압 Cable을 매 20m 마다 연결하여 최대 700m 까지

연결할 수 있으며 매 700m 마다 Connection Box를 설치한다.

나) Back-Up 전원 공급

터널내 부대시설에 전원을 공급함에 있어 1km 이내의 부하설비 전원은 저압으로 공급하나 터널 길이가 길어짐에 따라 선로 손실 및 전압강하로 인하여 고압인 3상 6,600V로 전원을 공급하여 800 ~ 1,000m 마다 변압기를 설치하여 전원을 공급한다.

구분	설비용량 (kW)			비고
	장비	부대시설	계	
TBM-5	1,750	650	2,350	부대설비
TBM-6.5	2,300	750	3,050	3km 이하

2) 급수 및 폐수 처리 시설

가) 급수설비

굴착압반과 Cutter와의 마찰열 발생을 억제하기 위한 소요수량을 TTM에 공급하여 주기 위한 시설로 갱구에 물탱크를 설치하여 Pump나 물차를 사용하여 막장까지 소요압력(2.5Bar)을 유지시켜 공급해야 한다.

나) 폐수 처리 시설

TTM굴진 시 발생한 석분이 갱내 작업용 수량과 혼합되어 갱내에서 배출되는 배수상태는 석분이 콜로이드 상태로, 직접 배수가 곤란하므로 탁수정화시설을 설치하여 황산알루미늄을 투입 응집시킨 후 배출시킨다.

3) 환기 및 집진 설비

가) 환기 설비

갱내 작업환경 개선과 갱내 작업 인원에게 신선한 공기의 공급, 엔진의 배기 가스 등을 배출하기 위한 설비이다. 환기방식에는 갱구에서 신선한 공기를 막장에 보내는 송기식, 막장의 더러워진 공기를 갱외로 보내는 배기식, 이것을 병용한 송·배기식이 있으며 TTM현장에서는 페이로더, 덤프트럭 등 디젤기관의 배기 가스, 분진, 수분의 안개상태에 따른 시계확보 등을 고려하여 터널용 출류 Fan을 사용한 송·배기식을 적용 사용한다.

나) 집진 설비

터널에서 배출되는 공기에는 디젤 기관의 배기 가스, 분진, 수분 등의 안개상태로 이를 집진기를 통해 자동으로 흡입하여 필터링한 후 분진을 제거하여 청정한 공기를 배출한다. 모여진 분진은 수거 후 폐기 반출함으로써 항상 대기 환경 오염이 없도록 한다.

법으로 원형관의 Shield를 사용 주변지반의 붕괴를 방지하면서 굴착과 동시에 강재 Arch 지보 및 콘크리트 Segment를 조립하여 터널을 구축하는 공법

3.1.5 TTM(Tracked Tunnel Machine)공법

TBM공법과 거의 유사하나 TBM에서는 구사할 수 없는 장비 이동 능력이 있으며, 원형단면만이 아니라 말굽형, 사각형으로도 단면을 변화 굴착할 수 있는 능력이 더 있다.

3.2 터널공법의 비교

구분		NATM	TBM	TTM
공법개요		- 발파 굴착 후 주변지반의 지지력을 활용 Rock Bolt, Shotcrete를 보조 지보체로 사용 - 암반역학을 기본으로 FEM등에 의한 시공단계별 해석 - 제측에 의한 Feed Back	- 전단면 기계굴착 공법 - 주변 암반 자체를 지보체로 활용 - 역학적으로 안정된 원형구조 형성	· TBM과 동일
굴착공정		· 천공 및 발파 · 버력처리 · Shotcrete 타설 · Rock Bolt 설치 · 강지보공 설치	· 굴착 및 버력처리 · Shotcrete 타설 · Rock Bolt 설치 · 강지보공 설치	· TBM과 동일
시공성	단면 및 선형	· 비정밀	· 정밀	· 정밀
	여굴	12 ~ 15cm	· 없음	· 없음
	안전성	· 화약발파로 낙반사고 빈발	· 비발파로 낙반사고 최소화	· TBM과 동일
환경성	작업환경	· 천공 슛크리트 분진 및 발파 가수로 불량	· 굴착 분진 극소로 양호	· TBM과 동일
	부대환경	· 발파진동으로 인한 주변 피해 발생 및 자연환경 훼손	· 무진동, 무발파로 주변 피해 없음	· TBM과 동일
경제성		· 여굴발생으로 비경제적 단면구성 · 다량 지보재 소요 · 장대터널에는 작업용 터널 필요	· 구조적으로 안정된 원형단면으로 지보재 대폭절감 · 장대터널에 절대 유리	· 기계 굴착 비용 최소로 공사원가 절감

상 단 점	장점	- 굴착과 동시 Shotcrete로 지반 이완을 방지하므로 대단면에 유리 - 지질변화에 대한 대비책 및 연계성 양호 - 광범위한 지질에 적용가능	- 비뿔파로 인접도 근대 - 원형구조로 구조적으로 인정 - 공정 단순 - 터널에 작업환경 양호 - 공사기간 단축	- 정교한 Profile 굴착 - 진동 및 소음이 적음 - 터널 지반 이완 적음 - 설치 해체 간단
	단점	- 정확한 지질조사 요구 - 계측 및 시공시 전문기술 필요 - 공정 다소 복잡 - 다수 장비 필요로 소단면에 부적합 - 장대 터널시 공사기간 장기화	- 연약지반 굴착 불가 - 정확한 지질조사 요구 - 기계충량이 무겁고 고가이다. - 전문 기술공이 필요 - 전진기작 확보가 어렵다	- 전진도강 확대 굴착시 공기 다소 지연됨 - 배리처리 선불 확보 - 터널내 버리 및 우수처리시설 확보
	적용례	· 도수터널, 도로터널, 지하철	· 도수터널, 도로터널, 지하철	· 도수터널, 도로터널, 지하철

3.3 TTM 의 제원 (TBM 대비)

구분	내역	TTM	TBM	비고
일반 제원	총중량	153 ton	400 ton	TBM은 Head 규격에 따름
	전장(본체)	13 m	32 m	
	전폭	3.8 m	Φ3, Φ5	
	전고	3.8 m	Φ3, Φ5	
전기 사양	수전 설비	1,000 V	20,000 V	
	수전 용량	800 kW	1,750 kW	
	운전 용량	570 kVA	1,150 kVA	
	주행 전력	200 kW	600 kW	
	수전 전압	575 V, 60 Hz	690 V, 60 Hz	
조립 및 해체	전기 사용료	400 - 500만원/월	2,000만원/월	
	분해 최대중량	16 ton	37 ton	
	분해 최대길이	8 m	25 m	
	소요 면적	10 × 5 m	30 × 15 m	장 × 폭
	기간	25 일	45 일	
급수 시설	부속 설비	3 일	30 일	
	급수 용량	16 ℓ/min	25 ℓ/min	
	일 소요량	60,000 ℓ		10 시간 가동시
	급수 상태	필터링 급수	필터링 급수	
	급수 시설	물탱크 사용	지하 및 공업용수	

3.4 터널 굴진 속도 비교

암질구분 (kgf/cm ²)	작업구분 (굴진량)	시공구분	TTM	TBM	NATM
		굴진단면 굴진량	R = 5.6m 24 m ³ /m	R = 5.0m 19 m ³ /m	R = 5.6m(상단) 49 m ³ /m
경암 1600이상	1시간	m	0.30	0.80	0.17
	1일 (18시간)	m	5.00	14.00	3.00
	1월 (25일)	m	125.00	350.00	75.00
보통암 1200이상	1시간	m	0.40	0.45	0.14
	1일 (18시간)	m	7.00	8.00	2.40
	1월 (25일)	m	175.00	200.00	60.00
연암 1000이상	1시간	m	0.60	0.52	0.11
	1일 (18시간)	m	11.00	9.00	2.00
	1월 (25일)	m	275.00	220.00	50.00
붕화암 800이상	1시간	m	0.80	0.33	0.09
	1일 (18시간)	m	15.00	6.00	1.60
	1월 (25일)	m	375.00	150.00	40.00
붕화토 800이하	1시간	m	1.00	굴진 불가	0.06
	1일 (18시간)	m	18.00		1.00
	1월 (25일)	m	450.00		25.00

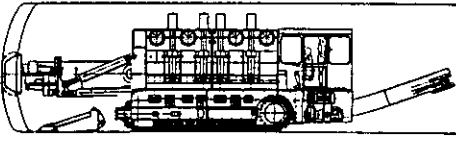
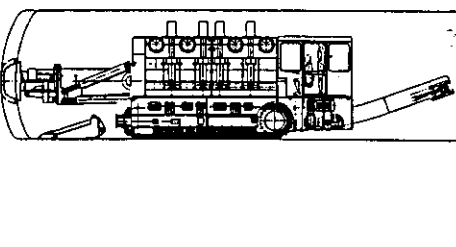
3.5 TTM의 기술 사양 비교

구분	내역	단위	TTM	TBM(Φ5)	비고
굴착규격	최대 높이	m	5.287	5.000	TBM: Φ5.0
	최대 폭	m	6.574	5.000	"
	최소 높이	m	3.870	5.000	TBM: Φ3.0
	최소 폭	m	5.000	5.000	
커팅헤드	Head 규격	m	1.5	5.0	TBM: Φ5.0
	Cutting 압력	ton	30	1530	
	Head 구동력	kW	250	250 × 6	
	Head 회전수	RPM	3 ~ 12	8	
굴착사양	굴착지반		붕화토 ~ 경암	연암 ~ 극경암	
	지지압력	ton	800	4367	50 ton 16EA
	1 Stroke	m	1.0	1.4	
	이동소요시간	min	6	15	1회 종료 후
	유압작동력	Bar	215	330	
주행능력	주행방식		무한궤도	압착 펌핑식	
	동판능력	%	11	25	
	최대속도	m/min	12	3	

4. TTM 공법의 응용

4.1 TTM 굴착 단면 응용

TTM을 이용한 굴착 방법에는 터널의 용도나 크기에 따라 전단면 굴착, TTM 굴착 후 확대굴착 또는 확대발파 등의 방법이 있다.

공법		추정 적용 빈도
전단면 TTM		25 ~ 30%
전단면 TTM + NATM 발파		70 ~ 75%

4.1.1 전단면 활용

도심지에서 시공하는 도로, 지하철, 통신구 등의 터널 시공을 NATM에 의한 발파 시공시는 진동 및 소음으로 주변건물 손상 및 민원 발생 문제가 있다. TTM에 의한 기계화 시공은 진동 및 소음이 없으므로 민원을 해소할 수 있다.

1) 상단 절삭 및 중심 절삭

TTM에 의한 전단면 굴착은 최대단면과 최소단면 사이에서 자유로운 모양의 단면이 굴착 가능하다.

2) 나단 절삭

대구경터널의 경우 상측이나 측면의 지지대를 활용하여 나단굴착도 가능하다.

3) 지하철 단선 굴착 시공

지하철의 단선병렬 구간의 터널은 터널 단면 규격이 TTM으로 일시에 기계굴착이 가능하며, 기계굴착에 의한 정교한 Profile 형성과 진동에 의한 지반교란 및 이완이 없어 안전하고 경제적인 시공을 할 수가 있다.

4) 지하철 단선 병렬 구간의 경우

지하철 단선 병렬 구간의 경우 TTM의 상부 굴착과 터널의 상부 규격이

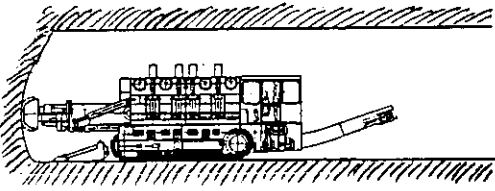
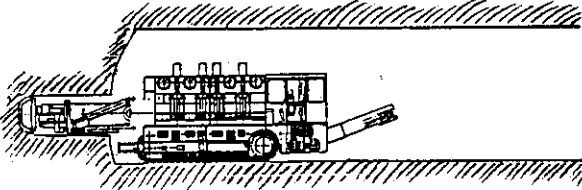
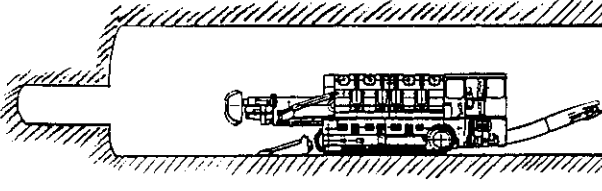
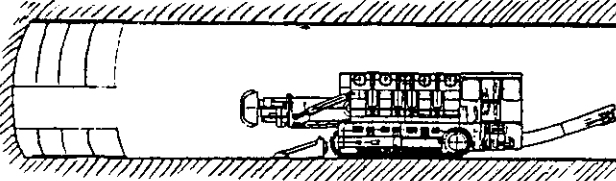
일지하므로 별도의 상단 발파 없이 TTM에 의한 터널 상단 전단면 굴착 후 하단 확대 발파만으로 시공이 가능하다.

4.1.2 TTM 굴착과 NATM 확대 발파

대구경 터널의 경우 TTM만으로 다단굴착 하기에는 무리가 있고, 공기나 비용에서도 비경제적이다. 이 경우 TTM에 의한 심빼기공이나 Pilot 터널을 먼저 굴착한 후 나머지를 NATM 확대 발파하면 발파시의 진동 및 소음은 대폭 감소하고 터널지반 이완이 축소되어 주변 건물 손상이 없고 민원 발생도 해소할 수 있다. TTM + NATM 혼합공법은 다시 2가지로 나눌 수 있다. 첫째는 TTM에 의한 심빼기 굴착 후 NATM을 교대로 진행하는 방법과, 둘째는 TTM 전진도강 관통 후 NATM을 하는 방법이다.

1) TTM 심빼기 + NATM

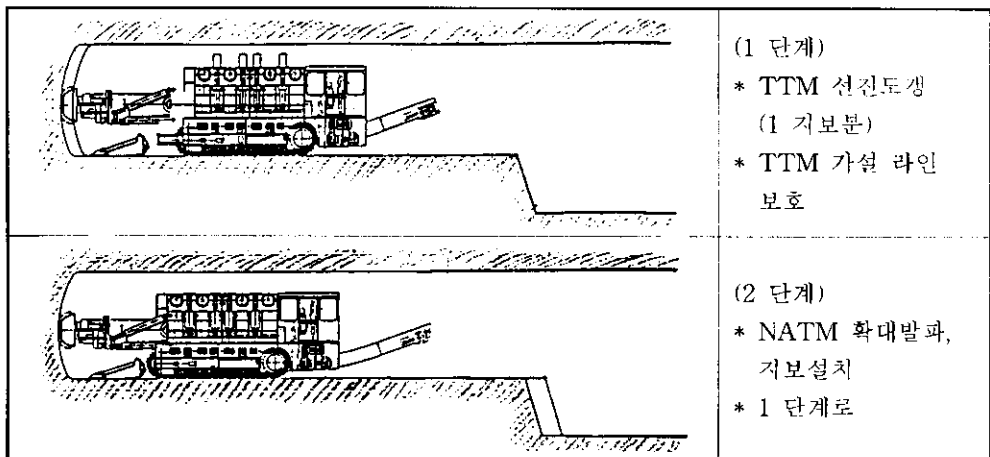
NATM의 가장 큰 문제는 발파 초기의 심빼기 발파시에 진동과 소음이 가

	(1 단계) * 장비를 벽면에 이동 밀착 * Staker로 장비 고정
	(2 단계) * 1.0 ~ 4.0m 깊이 심빼기 (직경 1.5 ~ 2m)
	(3 단계) * Staker 원위치 * 장비를 후방으로 이동
	(4 단계) * 전단면 NATM 확대발파 (1 ~ 4차) 후 1단계로

장 크다는 점이다. 심빼기공이 형성된 후에는 자유면이 많아지므로 이어지는 발파는 진동과 소음이 작아진다. 따라서 TTM의 Cutting Head에 의한 심빼기공을 먼저 1 ~ 4m 가량 굴착한 후에 확대발파하면 훨씬 작은 진동과 소음으로 터널 굴착이 가능하여 민원도 해소하며 중단 없는 경제적인 시공을 할 수 있다.

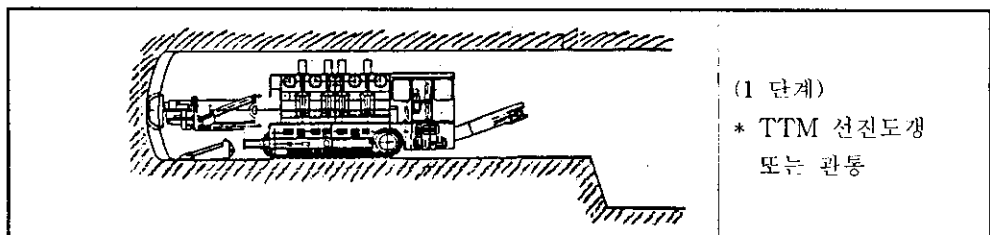
2) TTM 선진도갱 + NATM (1 지보 단위)

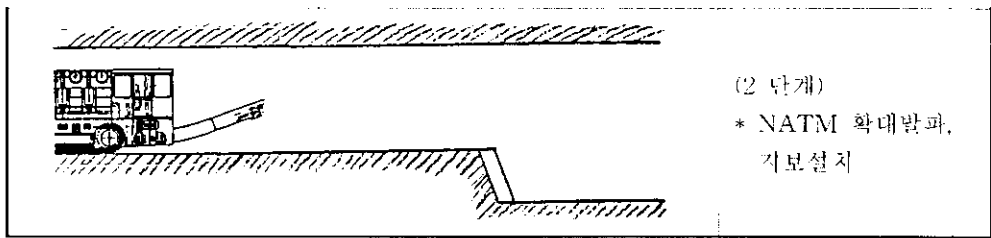
연암 이상의 경우 TTM이 선진도갱 하면서 약 20m 후방을 NATM 확대발파와 작업을 교대 운영할 수 있다. TTM은 후진 이동이 가능하므로 막상 상태가 나빠지면 즉시 후방으로 이동하여 터널 보완 후 다시 투입할 수 있는 적응성이 뛰어나다.



3) TTM 선진구간 도갱 + NATM (70 ~ 200m)

기계식 굴착인 경우 암반 이완이 없으므로 보통암 이상이면, TTM이 일정한 거리를 선진도갱한 후 후방을 NATM 확대발파, 작업을 교대 운영할 수 있다. 따라서 당사에서는 국내 최초로 서울 지하철 7-20공구(고속터미널 ~ 내방 ~ 이수)의 방배동 주택가 구간에서 이 방법을 적용 시험시공하였다.





4) 지하철 복선 구간의 경우

지하철 복선 터널의 경우 단면이 대구경이므로 TTM으로 터널상단을 선진도강 후 상단확대발파를 시행하고, 하단 확대발파로 진행한다. 이 경우 TTM에 의한 Pilot 터널은 TTM의 최소 단면만 굴착하여 가장 경제적이고 빠른 굴착을 할 수 있다.

4.2 무한 궤도 응용 (곡선 구간 굴착)

4.2.1 전력 통신구

전력 통신구의 경우 터널이 직각으로 뚫 수 있다. TTM의 경우 Track에 의한 장비 이동이 가능하므로 반경 8m이상이면 직각 이상으로 터널을 굴착할 수 있다.

4.2.2 수로 터널

수로 터널의 경우에도 터널이 특별한 각도로 꺾이는 상황에 맞춤시공이 가능하다.

4.2.3 Boom 발판 응용(Rock Bolt 및 Shotcrete 시공)

1) 일반적인 Rock Bolt 및 Shotcrete 시공

일반적인 경우는 TTM을 약간 후방으로 이동하여 작업공간을 확보해 준다.

2) 대구경인 경우 TTM Boom 발판 응용

대구경 터널의 경우 TTM의 Boom에 발판을 설치 작업을 용이하게 해준다.

岩盤工學 이야기 (I)

토목설계팀 토목차장 이정환

시작하며

우리 국토는 주로 산악지형으로 구성되어 있어서 국토개발은 필연적으로 岩盤과 관련된 공사를 수반하게 된다. 특히 고속철도, 고속도로, 지하철, 댐 및 지하비축시설 등 대부분의 대형 토목공사의 設計나 施工을 위하여서는 암반의 공학적 특성에 대한 이해가 필수적임에도 불구하고, 대다수의 土木技術者들에게는 암반공학분야는 아직까지 다소 생소하고 난해한 분야로 남아 있다. 암반은 흙과 달리 암석의 생성기원, 풍화정도 및 암반내의 불연속면의 존재 유무 등에 따라서 그 공학적 특성에 차이가 심하고 지형이나 地構造運動 등의 영향으로 초기응력이 달라지기 때문에 암반을 이해하기 위해서는 우선 地質學에 대한 기초 지식이 필요하다. 그러나, 지금까지 지질학은 지구에 대한 이해를 위한 순수과학분야로서 발전하여왔기 때문에 과학적 지식을 응용하는 土木工學分野에 지질학적 지식을 접목하는데에는 현실적인 한계가 있었다. 최근 증가 추세에 있는 대형 건설공사에의 이러한 한계를 극복하기 위하여 지질학적 지식에 기초하여 암반의 공학적 특성을 연구하는 토목지질학 또는 지질공학 분야가 점차 주목을 받고 있으며 활발한 연구가 진행되고 있다.

본 강좌는 실무에 종사하는 토목기술자들의 암반에 대한 이해를 돕기 위하여 이론과 실무적인 내용을 게재하고자 한다. 평소 실무를 수행하는 과정에서 경험이나 새로운 정보가 이 강좌를 통하여 활발하게 교환·전파되어 우리회사의 암반공학분야의 기술발전에 큰 도움이 될 수 있기를 기원한다.

1. 기초지질학

1.1 암반역학과 지질학

암반역학이란 지각을 구성하는 모든 암석에 대하여 건설공사의 대상이거나 건설재료의 일부로 간주하고 암석의 역학적 특성을 이용하여 암반의 거동특성을 구명코자하는 학문이다. 즉 단위암석의 역학적 특성은 岩石力學이란 용어로 사용되어 왔으며 이를 보다 포괄적인 공학적 의미를 부여코자함에 岩盤力學이란 용어가

쓰여지고 있다. 암반역학은 대체로 다음의 몇가지 기본방향을 가지고 관련 학문간의 활발한 교류가 이루어지고 있다.

- 1) 암석을 하나의 물질 혹은 재료로 간주하고 이의 역학적 특성 및 파괴양상의 규명
- 2) 암석의 동적·역학적 거동에 주목하고 굴착, 발파 등과 관련된 기술 향상
- 3) 지압분 등을 포함한 대규모 지하공간개발과 관련한 연구
- 4) 암석 암반의 역학적 불연속성을 감안한 손상역학과 관련한 연구
- 5) 지질학적 시간개념 및 암석의 변형, 변질과 관련한 구조지질학적 연구

건설공사의 대상으로서는 암석에 관련된 기성 학문분야로는 토목공학, 건축학, 화학공학, 광산학, 지진학, 지구물리학, 지질학 등이 있으나 암석의 기원 및 산상, 향후 변형 및 변질을 포함한 풍화양상 등을 광범위하게 규정, 묘사할 수 있는 분야는 지질학에 국한되므로 암반역학적 기초자료로서의 지질학 일부를 소개하고 이의 활용방안을 제시코자 한다.

1.2 기초지질학

1.2.1 암석의 생성과 분류

암석은 광물의 집합체이며 암반은 다양한 암석으로 구성되므로 결국 암반은 수많은 광물로 이루어져 있으며 이들의 기원과 조직, 산상과 변형·변질양상 등에 따라 분류가 가능하다. 즉 지각을 구성하는 모든 암석은 마그마(magma)가 냉각고결된 화성암, 화산활동, 침식작용 및 풍화작용 등에 의해 형성된 퇴적암, 이들 암석이 열과 압력에 의해 변형·변질되어 형성된 변성암으로 대분할 수 있다.

1) 화성암과 화성활동

가) 생성

화산에서 분출된 용암이 굳어져서 암석이 되며, 화도를 따라서 지하로 내려가면 깊은 곳에는 마그마가 있을 것이고 이것이 고결되면 역시 암석이 만들어질 것임을 짐작할 수 있다. 이들은 모두 고온 즉, 불과 관계있는 암석으로서 화성암(火成岩)이라고 불리게 된 것은 당연한 일이다. 화성암(火成岩, igneous rock)은 분출암(噴出岩, extrusive rock)과 관입암(관입암, intrusive rock)으로 양분되며 전자는 마그마가 지표에 분출되며 급속냉각되어 고결된 화성암이고 후자는 지각 내부에서 서서히 냉각되어 고결된 화성암이다. 관입암에는 지하 깊은 곳에서 매우 천천히 냉각, 고결된 것과 지표부근에서 비교적 빨리 냉각, 고결된 것으로 나눌 수 있으며, 전자를 심성암(深成岩, plutonic rock), 후자를 반심성암(半深成岩, hypabyssal

rock)이라고 한다. 화성암은 산출상태에 따라 세분될 수 있는데, 분출암의 경우 용암류(溶岩流, lava flow)와 화산바위부스러기(火山岩屑, volcanic debris)로, 관입암의 경우는 암맥(岩脈, dyke), 관입암상(貫入岩狀, sill), 병반(餅盤, laccolith), 암경(岩頸, neck), 저반(底盤, batholith), 암주(岩株, boss)등으로 세분화된다.

나) 조암광물

화성암을 만드는 광물 즉, 조암광물(rock forming minerals)은 그 종류가 많으나 화성암중에 흔히 산출되는 것은 10종 정도이고 화성암의 대부분을 구성하는 광물의 종류는 약 30종에 불과하다. 그 중에서도 화성암 분류에 중요하며 흔히 나타나는 광물로서 석영(quartz), 장석(feldspars), 운모(micas), 각섬석(amphibole group), 휘석(pyroxene group), 감람석(olivine group), 준장석(feldspathoids)등 7종으로 이들을 화성암의 주성분 광물이라고 한다. 큰 화성암체나 작은 화성암편들이 각각 다른 종류의 암석으로 분류할 수 있음은 화성암체들의 형태가 서로 다르고 여러 화성암의 깨진면에 나타나는 모양이 서로 달라서 구별이 가능하기 때문이다. 이런 화성암의 특징중 대규모의 것을 구조(structure)라고 부르고, 광물 입자들이 서로 모여서 만드는 소규모의 특징을 조직(texture)이라고 한다.

[표 1-1] 화성암의 육안분류

색	← 담색 →			← 검은색 →		
SiO ₂ %	>65	65~60	60±	55±	52~45	40±
광물 성분	석영, 정장석, 흑운모, 백운모, 각섬석	정장석, 사장석, 석영, 흑운모, 각섬석, 백운모	정장석, 흑운모, 백운모, 각섬석	사장석, 각섬석, 흑운모	사장석, 휘석, 감람석	감람석, 휘석, 자철석, 크롬철석
심성암	화강암	화강섬록암	섬장암	섬록암	반려암	감람암 더나이트
반심성암	화강반암 석영반암	화강섬록반암	섬장반암 반암	섬록반암 빈암	반려반암 조립현부암	(발견되지 않음)
화산암	유문암 석영조면암	석영안산암	조면암	안산암	현무암	
비현정결암맥		← 규장암 →		← 현무암 →		
유리질	← 흑요암 →		← 불석 →			
다공상구조	← 부석 →		← 다공상행인상 →			
행인상구조	← 행인상 부석 →		← 현무암 →			

2) 퇴적암과 퇴적작용

가) 생성

지표에 노출된 암석은 끊임없는 풍화작용과 침식작용을 받아 암설(바위부스러기, debris) 또는 수용액으로 되어 원암에서 분리된다. 이렇게 분리된 물질과 여러종류의 생물의 유해가 육상 또는 수저에 쌓여서 만들어진 암석을 퇴적암(堆積岩, sedimentary rocks)이라 한다. 원암에서 분리된 퇴적물은 유수, 빙하, 바람 등에 의해 퇴적지인 바다나 호소 등으로 운반된다. 퇴적분지에 운반된 퇴적물은 채설성 퇴적물, 화학적 퇴적물, 유기적 퇴적물로 나누어지며 이들은 각각 퇴적의 과정을 달리한다. 채설성 퇴적물은 처음부터 퇴적될 때까지 고체상으로 존재하다가 퇴적된 물질이다. 이들은 그 입자 크기에 따라 환경에 적합한 곳을 택하여 퇴적하게 되고, 입자가 크고 구체에 가까운 것은 빨리 낙하하여 퇴적되므로 얕은 수저에 쌓이고 직경이 작고 납작한 입자는 먼 곳까지 운반되어 깊은 곳에 퇴적된다. 화학적 퇴적물은 암석 또는 암설로부터 용해되어 일단 용액으로 되었던 성분이 침전되어 다시 고체화한 것이며 유기적 퇴적물은 생물의 유해가 쌓여서 만들어진 퇴적물이다. 퇴적물이 퇴적된 후에 받는 모든 물리적, 무기화학적, 생화화학적 변화를 숙성작용(續成作用, diagenesis)이라 하며 이러한 숙성작용을 통하여 퇴적물은 석화(石化, lithification)하여 퇴적암으로 된다.

나) 퇴적암의 특징

퇴적암은 퇴적물이 수저나 육지에 쌓여서 만들어진 것이므로 화성암과는 구별이 가능한 몇가지 특징을 가진다. 그중 대부분의 퇴적암이 갖는 특징으로 가장 중요한 구조는 층상으로 발달되는 평행구조(parallel structure)로서 층리(層理, bedding)이다. 이밖에 결핵체(結核體, concretion), 사층리(斜層理, cross-bedding), 물결자국(ripple mark), 건조열(乾裂, sun crack), 빗자국(rain print), 화석(化石, fossil)등으로서 퇴적암에서만 볼 수 있는 특징이다.

다) 퇴적암의 분류 및 명명

퇴적암은 퇴적물의 종류에 따라 크게 채설성 퇴적암, 화학적 퇴적암, 유기적 퇴적암으로 나뉘어진다. 채설성 퇴적암은 입자의 크기에 따라 역질암(礫質岩, 장경 20mm 이상), 사질암(砂質岩, 장경 20~1/16mm), 점토질암(장경 1/16mm 이하)으로 구분할 수 있다. 역질암은 역의 원마도(roundness)에 따라 역암과 각력암으로 나눌 수 있고, 점토질암은 입자크

기에 따라 장경 1/16mm~1/256mm인 미사암(微砂岩, siltstone)과 장경 1/256mm 이하인 셰일(shale)로 구분된다. 이암(泥岩, mudstone)은 미사와 점토로 되어있는 암석이며 평행구조가 없는 점이 미사암이나 셰일과 다른점이다. 화학적 퇴적암은 화학적 침전으로 이루어진 탄산염암(carbonate)과 물속에 용해되었던 물질이 물의 증발로 침전되어 만들어진 증발잔류암(evaporite)으로 구분된다. 탄산염암은 석회암(limestone)이 대부분이며 마그네슘 성분이 첨가되면 고회암(dolostone)으로 불린다. 증발잔류암은 주로 NaCl로 구성된 암염(rock salt), 주로 CaSO₄로 구성된 석고(gypsum), 주로 SiO₂로 구성된 처트(chert)가 대부분이다. 유기적 퇴적암은 생물체의 유해가 무수히 쌓여서 형성된 퇴적암으로서 대부분이 석회암이고, 생물체의 종류에 따라 백악(chalk), 규조토(diatomaceous earth), 처트(chert), 석탄(coal), 아스팔트(asphalt)등으로 구분할 수 있다. 화성쇄설암은 입자의 크기와 구성성분에 따라 다음과 같이 구분한다.

[표 1-2] 화성 쇄설암의 분류

용회암 (Tuff)	4mm 이하의 화산회로 구성
화산력용회암 (Lapilly Tuff)	4~32mm의 화산력으로 구성
각력용회암 (Tuff Breccia)	용회암에 화산암괴 포함
화산각력암 (Volcanic Breccia)	화산암괴를 주로 하고 화산회가 섞임
집괴암 (Agglomerate)	화산탄, 화산암괴, 용암, 화산회로 구성

3) 변성암과 지각운동

가) 생성

기존의 암석이 생성 당시와 다른 환경하에 놓이게 되면 그 환경에 적응하기 위한 변화를 겪는다. 암석에 이런 변화를 일으키는 작용을 변성작용(metamorphism)이라 하며 암석학자들에 의하면 암석이 풍화작용으로 변하는 것을 변질(alteration)이라고 하여 이를 구별하고 변성작용이라는 말은 풍화가 미치지 못하는 지하 깊은 곳에서 암석을 변하게 하는 물리적 및 화학적 작용에만 국한하여 사용한다. 변성작용은 암석에 큰 압력이나 높은 온도가 가해질 때, 또는 이들 둘 이상의 작용이 합작한 때에 일어나는 현상으로서 이때 변성암(變成岩, metamorphic rock)이 생성된다.

나) 구분

변성작용을 일으키는 중요한 요인으로서 온도, 압력, 화학성분, 지하수 등이 있으며 이들 중 하나 혹은 둘 이상이 서로 작용하여 변성작용이 행해진다. 주로 온도에 의해서 일이나 변성작용의 결과 형성된 변성암을 접촉 변성암(contact metamorphic rock), 주로 압력에 의해서 형성된 변성암을 동력변성암(dynamic metamorphic rock), 열과 압력이 서로 조합하여 형성된 변성암을 광역변성암(regional metamorphic rock)으로 구분된다.

접촉변성암의 종류는 대부분이 호른펠스(hornfels)로 대표된다. 동력변성암은 압력이 가해진 지질환경 즉, 지표하 심도에 따라 구분이 가능한데, 지표 가까이에서 응력을 받아 기존의 암석이 변형된 것을 파쇄암(破碎岩, cataclastic rock) 혹은 단층 각력암(fault breccia)이라 하고, 지하 심부에서(약 15km 이상) 기존의 암석에 응력이 집중되면 압쇄암(壓碎岩, mylonite) 혹은 안구상 편마암(眼球狀片麻岩, augen gneiss)이라 한다.

광역변성암은 변성암에 나타나는 고유한 구조인 엽리(葉理, foliation)의 발달상태와 구성입자의 크기 및 변성작용의 강도에 따라 점판암(粘板岩, slate), 천매암(千枚岩, phyllite), 편암(片岩, schist), 편마암(片麻岩, gneiss)으로 분류할 수 있다. 기타 일부 퇴적암과 다른 화성암이 변성작용을 겪게되면 독특한 변성암으로 변하게 된다. 석영립을 주성분으로 하는 사암은 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 규암(硅岩, quartzite)이 되고, 석회암이나 고회암이 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 대리암(marble)이 되며, 석탄이 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 무연탄(anthracite)이 되고 더 나아가 흑연(graphite)이 된다. 엽기성 화산암류가 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 각섬암(角閃岩, amphibolite)이 되고, 초엽기성 암석이 열수의 도움을 받아 접촉변성작용이나 광역변성작용을 받으면 사문암(蛇紋岩, serpentinite)이 된다.

나) 변성암의 명명

① 파쇄암

파쇄편의 크기에 따라 구분되며 단층각력암(입자장경 1mm~1m), 압쇄암(0.01~0.1mm), 슈도타킬라이트(0.001mm), 천매암쇄암(평균 1mm) 등이 있다.

② 동력변성암

변성정도에 따라서 구분하며 구조, 성분, 원암의 종류 등에 따라서 수석이 붙으며 주요 변성광물로는 남정석, 침자석, 녹염석, 녹니석, 양기석

등이 있다.

[표 1-3] 동력변성암의 종류

구 분	슬레이트	천 매 암	편 암	편 마 암
구 조	점판암	천매암	과상편암 점문편암 호상편암 반상변정편암	안구상편마암 호상편마암 암쇄편마암 반상변정질편마암
광물성분	운모편암		석영편암 운모편암 견운모편암 각섬석편암	화강편마암 섬록편마암 반려편마암 운모편마암 각섬석편마암 휘석편마암

③ 접촉변성암

대표적 암석은 혼펠스(hornfels)이며, 주요 변성광물로는 홍주석(andalusite), 근청석(cordierite), 규회석, 투각섬석, 투휘석 등이 있다.

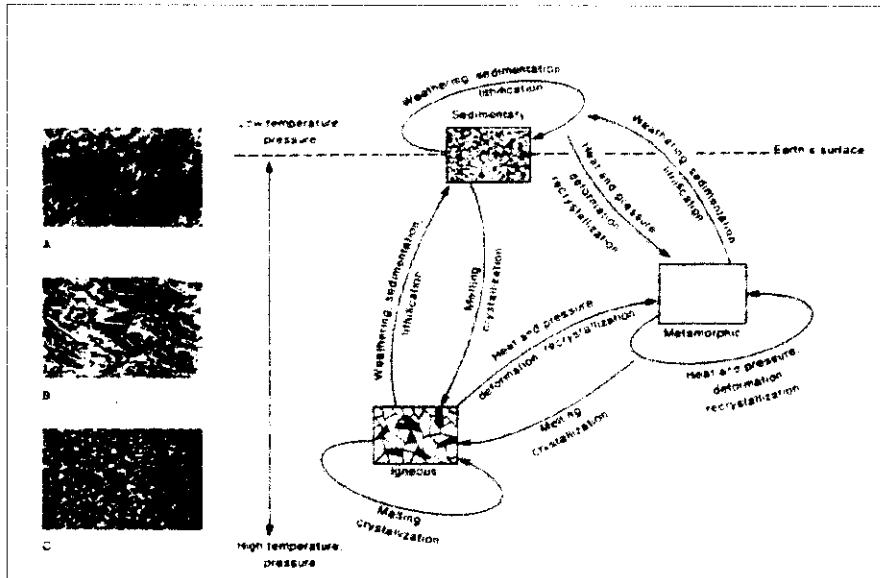
④ 기타 변성암

원암의 종류에 따라서 다른 변성암을 생성시키는데 규암(석영질암의 변성), 대리암(석회암, 고회암의 변성), 무연탄 및 토상흑연(석탄의 변성), 사문암(초고철질암-듀나이트, 감람암의 변성)등이 있다.

4) 암석의 운회

지각을 구성하는 암석은 환경이 변하면, 새로운 환경에 적응하는 방향으로 변화한다. 즉, 마그마가 냉각하면 결정작용에 의해 화성암이 만들어지고, 지표에 노출되어 있는 화성암과 변성암은 풍화, 침식되어 퇴적암을 만든다. 또 퇴적암이나 화성암이 열과 압력에 의해 변성작용을 받으면 변성암이 되고, 변성암이 고온, 고압하에서 용융되면 다시 마그마가 만들어진다(그림 1-1). 그러므로 암석의 순환은 암석을 구성하는 물질 즉, 원소의 순환이며, 풍화 → 침식 → 운반 → 퇴적 → 고화 → 변성 → 용융 등의 과정을 밟으면서 에너지의 변천이 이루어지는 것이다. 지표에서의 풍화, 침식, 퇴적작용은 태양으로부터 오는 에너지에 의한 것이고, 변성과 용융작용은 지구 내부 에너지에 의한 것이다. 전자는 지표를 평탄하게 만드는 반면, 후자는 지형의 기복을 만든다. 지구에서는 지구 생성 이래로 위의 두 가지 작용이 서로 평형

상태를 유지하면서 일어나고 있으며, 이러한 암석의 윤회는 지각이 형성된 이래로 오늘날까지 끊임없이 이어져 왔다.



<그림 1-1> 암석윤회의 모식도

1.2.2 암석분석

현장암석에 대한 정확한 명칭은 명명을 위하여 다양한 분석기법이 사용되는데 통상 광물조성분석을 위한 편광현미경 감정과 광물성분분석을 위한 X선 분석이 적용된다.

1) 광물조성 분석

암석의 지질학적 명명을 위해서는 암석을 구성하고 있는 광물의 종류와 그 구성비, 산상 등에 대한 확인이 필수적이다. 이를 위한 가장 기본적인 연구로써 광물을 현미경으로 관찰하게 되며 광물입자의 격자구조 등에 의한 개별 광물의 특성을 규명하기 위하여 통상 편광(광학)현미경을 사용한다. 또 편광현미경(Model-Labophot-Pol, Nikon)으로 광물을 관찰하는 경우에는 박편(thin section)이라 불리는 시료 제작 과정을 거치게 된다. 편광현미경이 일반 현미경과 다른 점은 stage 위쪽과 아래쪽에 각각 1개씩 편광판이 있고 현미경의 튜브에 대안렌즈, 버트랜드렌즈, 위쪽에 대안렌즈, 아래쪽에 대물렌즈로 구성되어 있다. 편광현미경으로 광물의 색, 다색성, 입자의 크기 및 형태, 벽개, 포유물 등을 관찰할 수 있고 결정의 굴절율, 소광각, 복굴절현상, 등방성과 이방성, 일축성과 이축성 등을 관찰 측정하여 구성광물의 종을

결정하게 된다.

2) 화학성분 분석

암석의 화학성분 분석에는 여러 가지 방법이 있을 수 있으나 통상 X선 형광분광 분석(XRF : X-Ray Fluorescence analysis)이 적용된다. 이는 암석의 주성분을 분석하여 변성전 기원암의 암질을 파악하고 변성후 광물조성의 변화를 규명코자함에 그 목적이 있다.

3) 점토광물 분석

가) 충전물의 공학적 의미

암반의 불연속면내에 존재하는 충전물은 그 기원에 따라서 크게 양분되는데 그 하나는 모암이 풍화·잔류하고 있는 경우로서 모암과 충전물의 화학조성이 동일한 것이고, 다른 하나는 열수(熱水, hydrothermal), 지하수 등의 영향으로 외부에서 유입되어온 것으로 모암과 충전물간의 화학조성이 다른 것이다. 특히 팽창성 점토는 함수시 수침배의 체적증가가 유발되므로 이들이 터널이나 암반사면 등 주요 구조물의 기반암내에 협재할 경우 심각한 문제가 대두될 수 있다. 따라서 충전물에 포함된 팽창성 점토(montmorillonite, smectite 등)의 유무를 확인하는 일은 매우 중요한 작업이다.

나) X선 회절분석 (XRD : X-Ray Diffraction Analysis)

대부분의 광물은 편광현미경으로 관찰이 가능하지만 미세한 점토광물은 입자의 크기가 $2\mu\text{m}$ 이하이므로 현미경에 의한 감정은 불가능하다. 따라서 이러한 점토광물의 결정구조 분석을 위해서는 X선 회절분석이 이용된다. 결정구조 연구에 이용되는 X선은 0.2~2.5의 파장을 갖는데 X선이 결정격자에 부딪히면 전자들은 X선과 같은 진동수로 진동하게 되며 이때 X선 에너지의 일부를 흡수하면서 동일 진동수와 파장을 가진 X선이 방출된다. 일반적으로 이 산란(Scattered) 파동은 상호간섭에 의해 소멸되지만 특정 방향에서는 그 파동이 상승적으로 결합하여 나타나게 되며 이러한 효과를 회절(Diffraction)이라 한다.

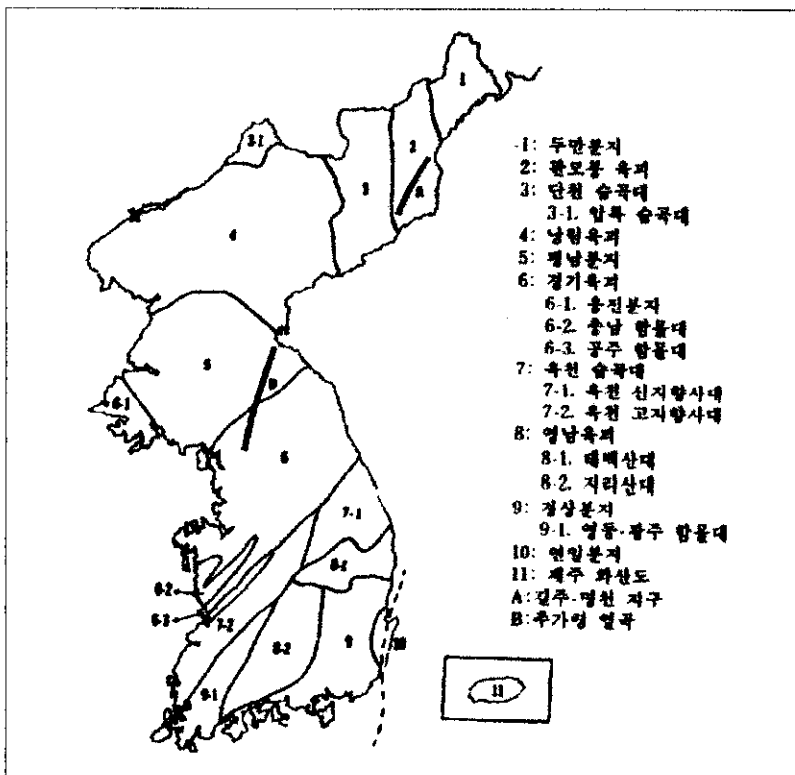
1.3 한국지질의 특성

1.3.1 개관

한국의 지질은 선캄브리아이언(Eon)의 지층에서 신생대충에 이르기까지 다양하게 분포한다. 이들중 한반도의 기반을 이루는 선캄브리아 이언의 변성암류와 고생대 및 중생대의 심성암류는 여러번에 걸친 지각변동과 백악기 이후에 일어나

용기와 삭박작용에 의하여 크게 노출되어서 우리나라 지질의 반 이상을 차지한다. 한반도의 북쪽에는 선캄브리아 이언의 변성암류와 고생대 지층이 우세하게 분포하고 있는데 반하여, 남쪽에는 중생대 지층도 함께 넓게 분포한다. 특히 중생대 화강암의 저반이 북쪽에는 무질서하게 산재하는데 반해 남쪽에서는 중국방향의 옥천대에 나란하게 큰 규모의 저반을 이룬다. 중생대층의 넓은 분포지는 한반도의 동남쪽인 영남지방과 남해안 지역에 있다. 따라서 선캄브리아 이언의 변성암류와 고생대층은 중국대륙의 화북지방의 것과 잘 대비되고, 백악기와 신생대층은 일본 열도의 것과 잘 대비된다. 신생대 제 3기층은 동해안을 따라서 작은 조각으로 10여 곳에 분포하며, 서해안에서는 두 곳에서 발견된다. 이러한 현상들은 전체적으로 보아 한반도의 지질이 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 젊어지는 경향을 보여준다. 신생대 제 4기의 화산암은 제주도, 울릉도, 백령도, 추가령열곡, 길주-명천 지구대, 백두산 부근에 분포한다. 다음의 표 1-4는 한국의 지질계통표이다(원종관, 1989).

한반도의 남쪽은 <그림 1-2>에서 보는 바와 같이, 크게 경기육괴 지역, 경상누층군 지역(경상분지 지역), 연약암반 지역(연일본지 지역), 섬 및 기타 지역으로 나눌 수 있다.



<그림 1-2> 한반도 지체구조도

[표 1-4] 한국의 지질계통도

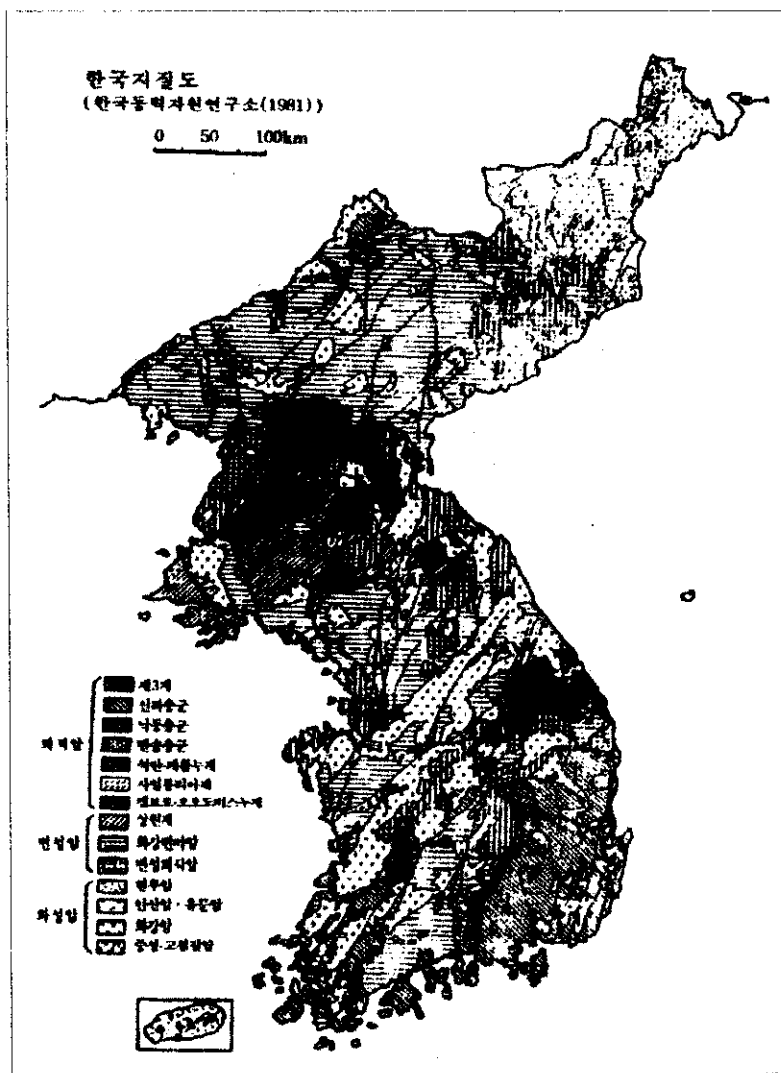
표 1-4 한국의 지질계통도

地質時代		地質系統(南韓)		地殼變動 火成活動, 變成作用, 其他	新地質系統	
新 生 代 紀	第四紀	現世	(沖積層)	爲地沿岸堆積	第四系	(沖積層)
	플라이스토세	新陽里層	新陽里層	大山活動: 알팔리 火山岩類	第四系	(洪積層)
	플라이오세	西歸浦層?	西歸浦層?	大山活動	第三系	
	마요세	延日層群	延日層群	陸盆	第三系	明川統
	올리고세	陽北層群	陽北層群	傾斜	第三系	龍洞統
	에오세			佛國寺花崗岩	第三系	鳳山統
中 生 代 紀	白堊紀	鎭川層群	鎭川層群	陸盆	慶尙系	佛國寺統
		新羅層群	河陽層群	大山活動: 雲門寺 火山岩, 米珍山 火山岩, 延慶山 火山岩, 龍峰 火山岩	慶尙系	新羅統
	유라紀	洛東層群	新洞層群	大寶蓋山運動, 大寶花崗岩	慶尙系	洛東統
	트라이아스紀	龜谷層	龜谷層	花林變動, 火成活動	大同系	柳京統
古 生 代 紀	페름紀	古汚層	古汚層	火成活動	大同系	輝輝統
		遼土谷層	遼土谷層	沃川層群(上部)	平安系	高坊山統
		咸白山層	咸白山層	海侵	平安系	
		長省層	長省層	海侵	平安系	
		망치層	망치層	海侵	平安系	
	石炭紀	(中間層)	(中間層)	海侵	平安系	寺洞統
		黔川層	黔川層	海侵	平安系	紅店統
		晚項層	晚項層	海侵	平安系	
	데본紀			造陸運動(陸化?)	平安系	
	사일루리아紀	鎭川里層	鎭川里層	沃川層群(下部)	朝鮮系	大石灰岩統
代 紀	오오도비스紀	大石灰岩層	大石灰岩層	海侵	朝鮮系	臨德統
	캠브리아紀	陽德層群	陽德層群	海侵	朝鮮系	
				地變	先聲系	駒峴統
				火成活動, 廣域變成作用 (花崗片麻岩)	先聲系	祠堂廟統
原 生 代 紀	後期	鎭川層群	鎭川層群	(花崗片麻岩), (花崗岩化作用)	先聲系	直峴統
	中期	泰安層	智異山變成複台體	地變, 火成活動, 廣域變成作用	先聲系	花崗片麻岩系 結晶片岩系
始 生 代 紀	前期	多山層群	多山層群			
	小園燐石層	鐵果層群	鐵果層群			

1.3.2 경기육괴 지역

경기육괴(陸塊)는 영남육괴와 더불어 한반도 섬캄브리아계의 기저부를 형성하는데(그림 1-2) 대부분이 변성암류로서 주로 화강암질 편마암(granitic gneiss) 및 이에 협재되는 편암과 규암(quartzite)으로 이루어진 변성암 복합체이다(그림 1-3).

경기육괴 지역에 분포하는 암반내의 불연속면은 주로 변성암의 특징인 엽리(편리, 편마구조)와 절리(전단절리, 인장절리), 단층면 및 일부 규암에서는 층리 등이 있다.



<그림 1-3> 한반도 지질도

1.3.3 영남육괴 지역

영남육괴를 이루는 변성퇴적암류도 경기육괴와 마찬가지로 주로 편마암류와 편암류이다. 지리산을 중심으로한 육괴의 서남부는 화강암질 편마암류 및 반상변정 편마암(porphyroblastic gneiss) 등의 준편마암류(paragneiss)로 이루어져 있으며, 육괴의 북동부는 각종의 호상편마암(banded gneiss), 미그마타이트질 편마암(migmatitic gneiss) 및 편암류로 구성된다. 영남육괴 지역에 분포하는 암반내의 불연속면은 주로 변성암의 특징인 엽리(편리, 편마구조)와 절리(전단절리, 인장절리), 단층면 및 일부 편마암에서는 분쇄절엽리 등이 있다.

1.3.4 옥천구조대 지역

옥천대는 남한 중부에 약 80km의 폭을 가지고 남서 해안에서 북동 해안까지 거의 북동방향으로 연장된 지대이다. 옥천구조대에 분포하는 지질은 크게 구조대의 북동부와 남서부로 구분할 수 있는데, 북동부에는 주로 고생대층이 분포하며 중생대층이 좁은 대상으로 약간 분포한다. 하부고생대층은 석회암을 주로 하고 고회암과 석회질 쇄설퇴적암으로 구성되어 있으며, 상부 고생대층은 육성쇄설 퇴적층으로 함탄층(coal seam)을 협재한다. 중생대층은 주라기와 백악기의 육성쇄설 퇴적암층으로 되어 있다. 이들 암석들은 약간 변성되어 사암은 규암에, 세일은 점판암에 가깝게 되었고 탄산염암(carbonate)류는 재결정작용(recrystallization)을 받은 정도로 변성되어 있다.

옥천구조대 남서부에는 소위 옥천계로 알려진 변형퇴적암류가 분포하는데 그 변성도는 상당히 높은 편이다(임명혁, 1992). 이들 변성암류는 천매암, 녹니석편암(chlorite schist), 운모편암(mica schist), 규암, 각섬암(amphibolite)으로 구성되어 있는 북동부의 고생대-중생대층과는 층서, 암상, 변성도에 있어서 현저한 차이를 나타낸다. 옥천구조대 지역에 분포하는 암반내의 불연속면은 주로 변성암의 특징인 엽리(점판벽개, 편리, 파랑벽개, 습곡축면엽리, 편마구조)와 절리(전단절리, 인장절리), 단층면, 파쇄대 및 일부 편마암에서는 분쇄절엽리, 층리 등이 있다.

1.3.5 경상누층군 지역

한반도에는 중생대 주라기 후기에 있었던 대보조산운동이후 백악기에 걸쳐 화산암류를 수반한 두꺼운 육성퇴적층이 형성되었는데 이 퇴적누층을 경상계 또는 경상누층군이라 한다. 경상누층군은 주로 경상남북도에 발달해 있어 이 지역의 경상누층군 분포지를 경상분지라고 한다. 이에 대비되는 상부 중생대층은 경상분지 이외에 전라남북도에 각 일부, 충청북도 영동, 괴산 지역, 강원도 통령 지역 등에

각각 산재하여 분포된다. 경상누층군은 주로 역암(conglomerate), 사암(sandstone), 세일, 이암(mudstone) 및 이회암(marl)의 호층(alternation)으로 구성되어 있다. 경상누층군의 하부에는 얇은 석탄층이 불연속적으로 협재되어 있으며, 상부에는 화산암류가 발달되어 있다. 경상분지 내에서 경상누층군의 총 두께는 약 8,000~10,000m에 달하며, 암반내의 불연속면은 주로 퇴적암의 특징인 층리와 절리, 단층면, 단층대(양산단층), 파쇄대 및 세립질 암석(세일)에 주로 발달하는 fissility 등이다.

1.3.6 연약 암반지역

연약 암반지역은 우리나라의 신생대 제 3기층이나 제 4기층에 해당한다. 주 분포지는 동해안을 따라 소규모로 산재 분포한다. 이들은 강원도 북평지역, 경북 영해지역, 경북 포항지역, 경북 어일지역, 경남 울산지역 및 제주도 서귀포 지역에 주로 분포하며 포항-어일지역이 가장 넓다. 이들 신생대층들은 퇴적분지에서 퇴적물이 퇴적된후 채 고결되지 않은 상태에서 지반의 융기, 삭박작용으로 현재 동해안 일대에서 주로 나타난다. 신생대층중 특히 이암(mudstone)의 경우는 주구성광물이 분모릴로나이트, 일라이트, 카올리나이트 등의 점토광물로 구성되어 있기 때문에, 이들 광물의 특성상 지표에 드러나면 풍화가 급속히 진행되며, 일부는 슬래킹 현상도 일어나는 극히 불안정한 연약암반층이다.

연약 암반지역의 주 구성암석은 이암, 미사암(siltstone), 용회암(tuff), 현무암(basalt), 용암류(lava), 화산암류, 기타 미고결 퇴적층 등이며, 암반 불연속면은 주로 퇴적암의 특징인 층리와 절리, 단층면, 단층대(양산단층), 파쇄대 및 세립질 암석(세일)에 주로 발달하는 fissility 등이다.

1.3.7 섬 및 기타지역

제주도 서귀포, 성산포, 모슬포 지역을 제외하고는 제주도 대부분이 신생대 제 4기 화산암류와 화산분출물로서 수 m 두께의 현무암 아래에 수 m 두께의 화산쇄설물이 교대로 반복 분포하는 경우가 많아 연약지반과 암반이 수 m씩 반복 출현한다. 더불어 용암류가 분포하는 지역은 암반내에 공동(cavity)이 곳곳에 분포하고 있어 매우 불안정한 지반으로 분류할 수 있다. 이들 암반에 분포하는 불연속면 또한 현무암의 수축, 냉각시 형성된 주상절리이므로 그 틈이 매우 넓고 연장성이 양호한 인장절리 이다.

울릉도 또한 제주도와 비슷한 지질을 보이나, 울릉도 특유의 화산암류 아래에 화산성 자갈층이 수 m씩 분포하고 있는 경우가 많아 이들 자갈층을 따라 지표의

구조물이나 지반이 이동하는 경우가 많다. 불연속면은 제주도의 것과 비슷한 양상이다.

기타 남해나 서해의 수많은 섬들은 대부분이 중생대 화산암류와 응회암 및 사암, 세일 등이 가장 많은 분포를 보이고 일부 섬들은 화강암류도 분포한다. 이들 섬 지역에 분포하는 암반대의 불연속면은 주로 퇴적암의 특징인 층리와 절리, 단층면, 세립질 암석(세일)에 주로 발달하는 fissility 등이 있다.

한진그룹 부산사옥 신축공사현장의 토공사 공법 적용사례

(Plastic C/B Wall + Diaphragm Wall + R.C.D + Top Down 공법)

한진그룹 부산사옥 신축공사현장 소장 정재훈

기사 김기대

1. 서 론

한진그룹 부산사옥 신축공사현장은 부산시 중구 중앙동 업무지역에 위치한 전형적인 도심지 공사현장으로 21세기 해양도시로 발전하는 부산의 정책 방향에 맞추어 건립되는 항구도시의 Land Mark로서 상징성을 지닌 현대화된 오피스빌딩을 신축하는 공사이다.

당초 공사 착수전 토공사 적용이 Open Cut + Strut 공법으로 설계가 되어 있었으나 세부 지질조사 결과 발파석으로 형성된 전석층 출현 및 지하수위가 G.L. - 2M에 이르는 등 지반조건이 극히 열악하고 인접건물 및 철도부지의 지반침하로 인해 생길 수 있는 민원 및 안전성문제, 도심지 공사의 특수한 여건인 부지 협소, 차용지 확보, 자재 수급문제 등 공사 진행을 위한 여러 가지 공간적인 어려움이 예상되어 Top Down 공법을 적용할 수 있도록 구조설계를 변경하여 적용하였다.

따라서, 이 공법의 적용에는 종래의 기존 방식과는 달리 시공방법 및 준비가 필요하며 면밀한 기술검토, 공사비용 및 공기에 대한 계약적 검토 등 총체적 결론을 유도하는 선행작업이 필요하였다. 본 현장 조건에서는 경제성 및 공기에서도 Open Cut-Strut 공법에 비하여 불리하지 않은 것으로 분석되었으며, 따라서 공사의 안전성을 우선 고려하여 본 공법을 시행하게 되었다.

2. 공 사 개 요

2.1 개 요

- ◆ 공 사 명 : 한진그룹 부산사옥 신축공사
- ◆ 위 치 : 부산광역시 중구 중앙동 4가 79-9

- ◆ 대지면적 : 3,669.7 m² (1,100 평)
- ◆ 연 면 적 : 40,509.4 m² (12,257 평)
- ◆ 층 수 : 지하 5층, 지상 24층
- ◆ 주차대수 : 총 267대
- ◆ 구 조 : 철골 철근 콘크리트조 (Src조)



<사진 1-1> 현장전경

2.2 토공사 공법 적용

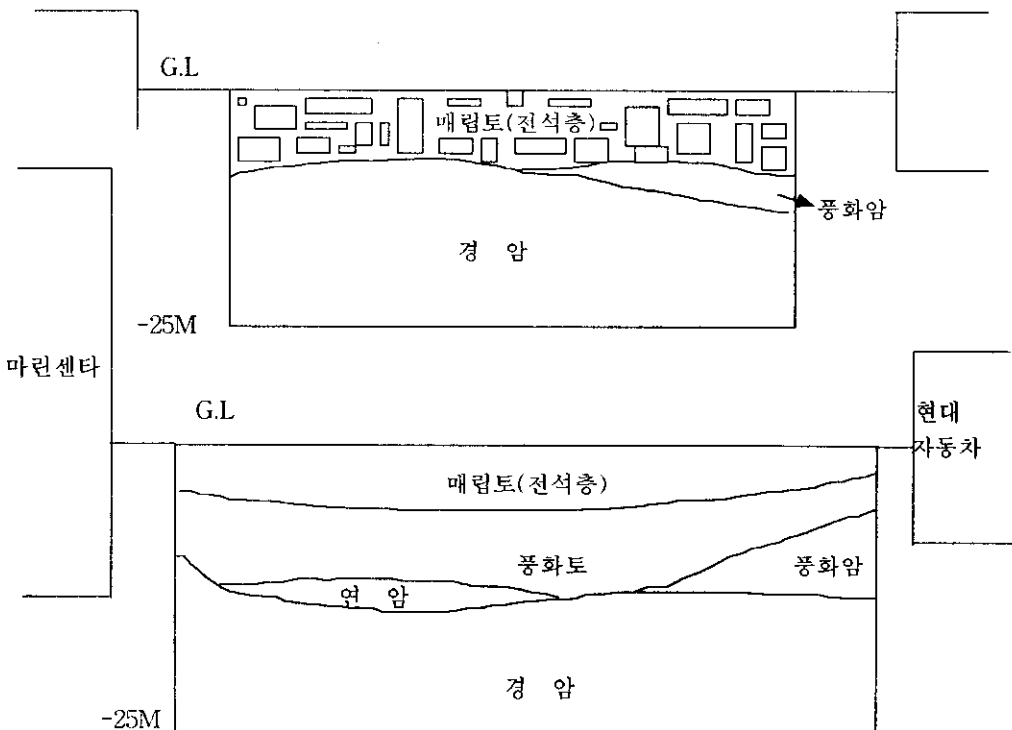
- 1) 지반보강 : Plastic C/B Wall → Cement + Bentonite Wall
- 2) 흙 막 이 : Diaphragm Wall → Slurry Wall
- 3) 지 보 공 : Slab 지보공 → Top Down 공법
- 4) 지하기둥 : R.C.D → Reverse Circulation Drill (철골 + 기초 콘크리트)

2.3 공법 적용배경

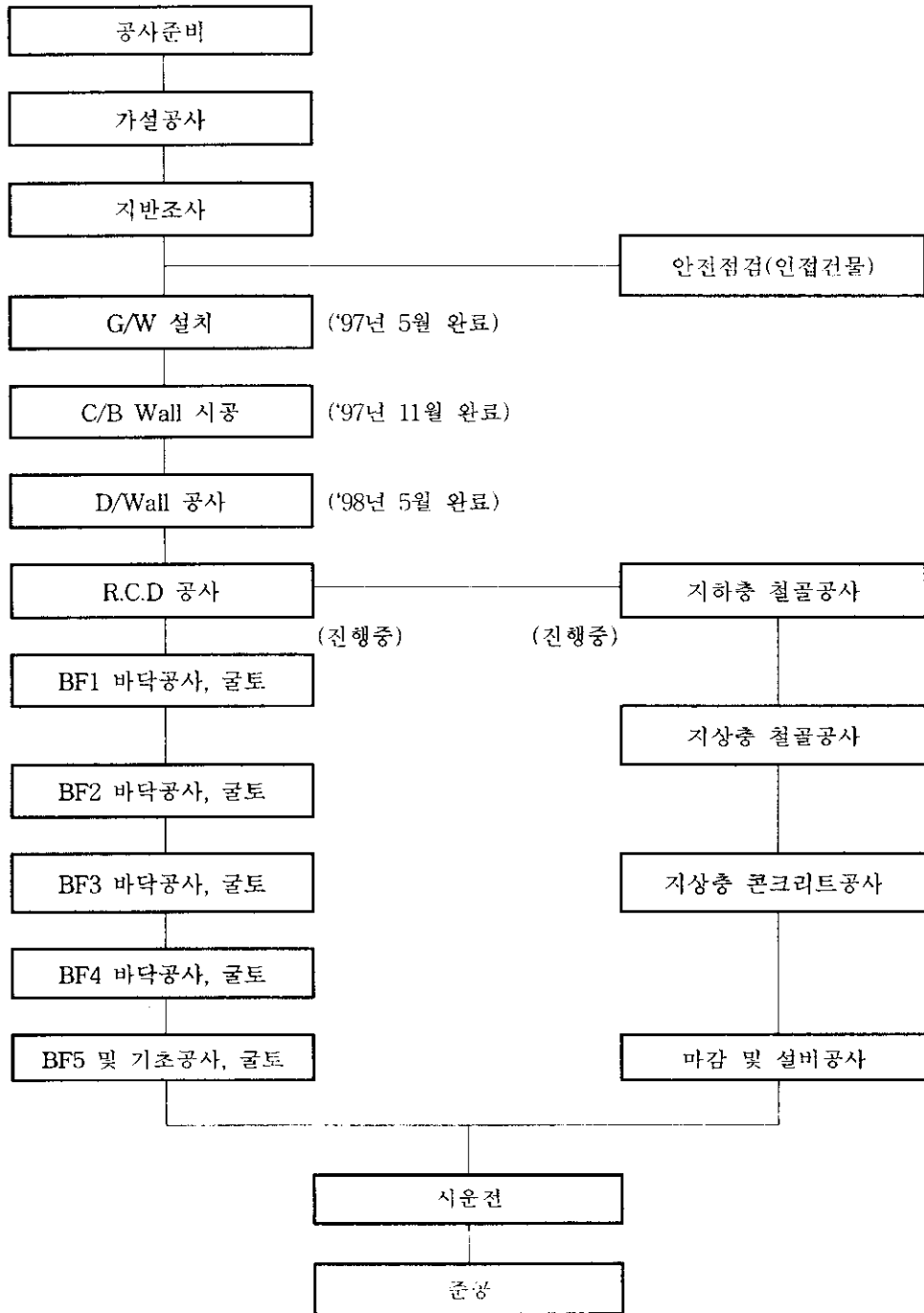
- 1) 연약 지반이 깊고 지하수위가 높으며 노후 구조물 등이 부지와 인접하여 재래식 흙막이 벽으로는 계획하기 어려운 대지에 고층 건물을 구축할 경우, 인접건물에 영향을 최소화 할 수 있는 등 안전시공이 가능하며 부지의 활용을 극대화 할 수 있다.

- 2) 지하부분의 깊이가 증가할 경우 일반 흙막이 공법으로는 상당한 위험 부담이 따른다. Top Down 공법은 구조물 강성 및 차수성이 큰 Diaphragm Wall이 흙막이벽 역할을 하며 각층 Slab가 영구 Strut 역할을 수행하므로 굴토중 주변 지반의 변위를 최소화시킬 수 있어 지하공사의 안전성을 확보할 수 있다.
- 3) 1층 Slab가 우선 시공되어 조기에 작업장이 구축되므로 민원의 발생을 극소화시킬 수 있고 특히, 지하부분의 공사는 전천후로 시행할 수 있어 지하공사중 발생하는 각종 소음, 분진에 따른 민원을 최소화할 수 있다.
- 4) 인접되어 있는 부산역 철도부지의 예상되는 지반침하를 사전 예방하여 사고를 방지할 수 있다.

2.4 부지 현황



3. 공정 Flow Chart



4. 적용공법 소개

4.1 Plastic C/B Wall (Cement+Bentonite)

4.1.1 개요

공사 착수후 실시한 세부 Boring Test 결과, 상부층 10-12M 깊이의 매립층 구성이 반파암으로 매립되어 있음을 확인하였다. 이러한 전석층은 아주 특수한 경우로써 별도의 지반개량에 의한 지반 안정을 도모하지 않으면 지하 연속벽(D/Wall) 굴착시 전석층의 과도한 공극으로 해수가 다량 유입되어 굴착면의 붕괴, 안정액의 유실 등 정상적인 연속벽 품질관리가 불가능하여 당 현장의 여건에 가장 부합되는 C/B Wall 공법을 지반개량 공법으로 채택하게 되었다.

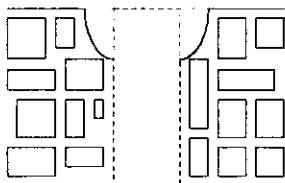
4.1.2 목적

- 1) 연속벽 공사시 지하수 및 해수 유입을 억제하며 굴착 Trench 보호
- 2) 부입자재(벤토나이트, 레미콘)의 파다 소요 및 유실 방지. (안전성, 경제성)
- 3) 차수 성능이 뛰어나므로 연속벽의 품질관리 기능.

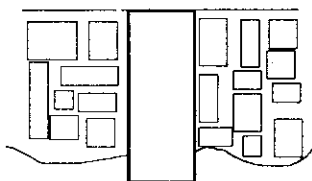
4.1.3 장 점

- 1) 개량된 부분에 대한 굴착시 손상이 없어 차수 효과가 지속적으로 유지되어 해수유입으로 인한 지하 연속벽의 염해 및 중성화 방지.
- 2) 지하 연속벽 외부쪽에 고르게 분포되고 소정의 강도(30kgf/cm^2)를 발현하므로 지하굴착시 발생할 수도 있는 인접지반 침하 예방 및 Heaving, Piping 현상 방지.

4.1.4 시공 순서

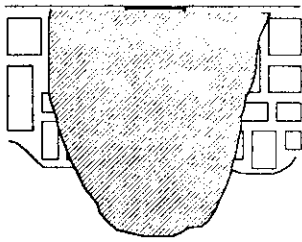


- I. 차수벽 공사의 굴착 작업을 위한 보조벽용으로 Guide Wall을 설치한다.



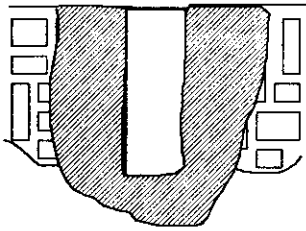
- II. Trench Wall 굴착

굴착은 C/B Slurry 속에서 진행한다. C/B Slurry는 적어도 지하수위보다 1.0M위에 유지하고 여굴발생 우려가 없는 풍화도층 일부까지 진행한다.



III. C/B액 주입

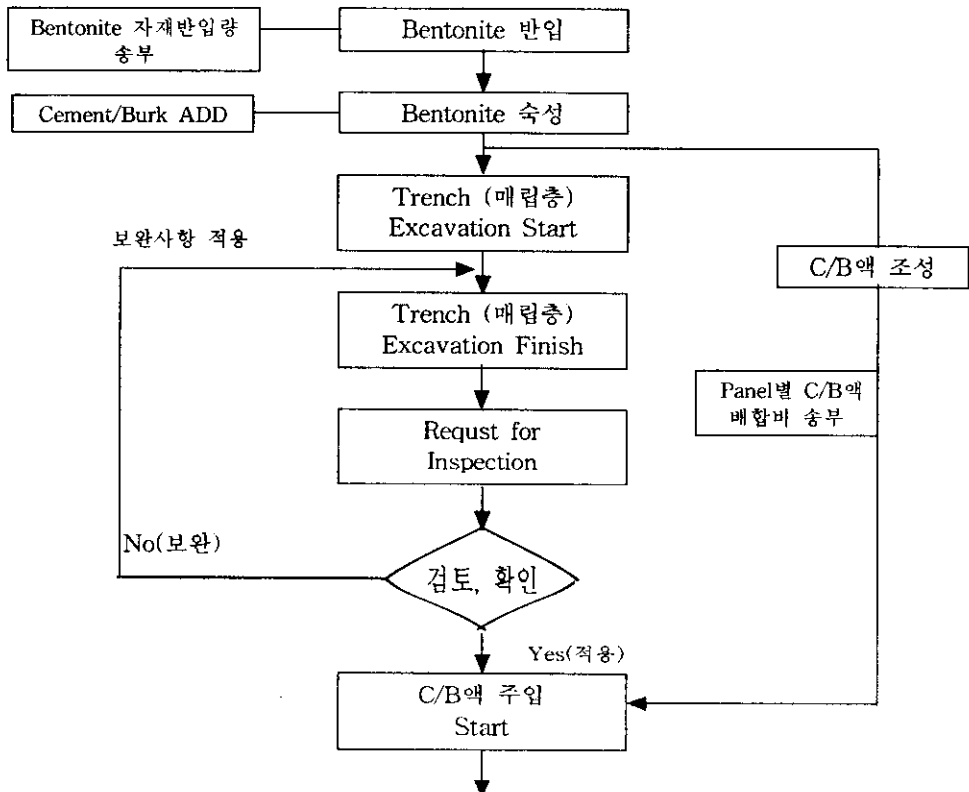
- 물 890kg과 벤토나이트 80kg을 혼합, 24시간이상 저장한다. (비중> 1.015)
- 벤토나이트 용액 970kg+시멘트240kg를 첨가한 C/B Slurry를 혼합한 후 주입한다.

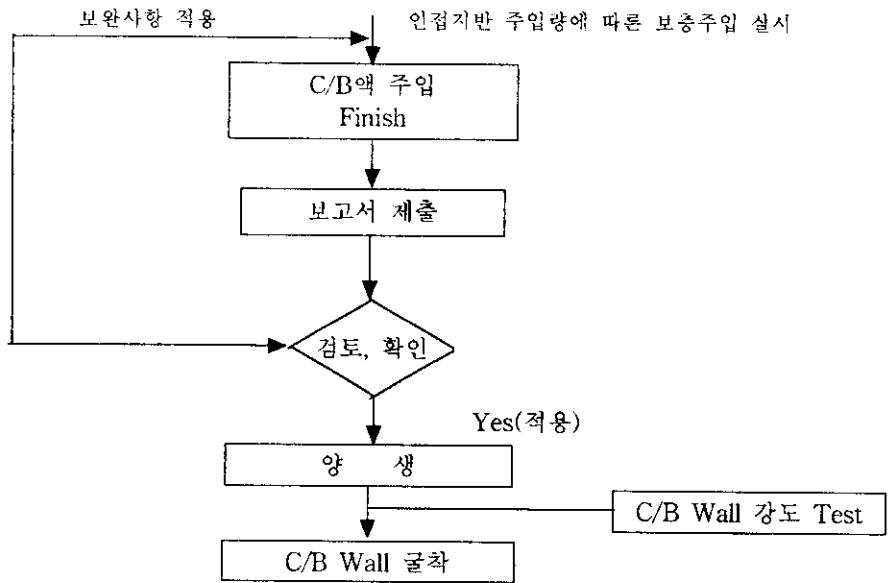


IV. C/B Wall 굴착

에지데이터에서 혼합된 C/B Slurry 적정량을 주입하면서 굴착을 진행한다.

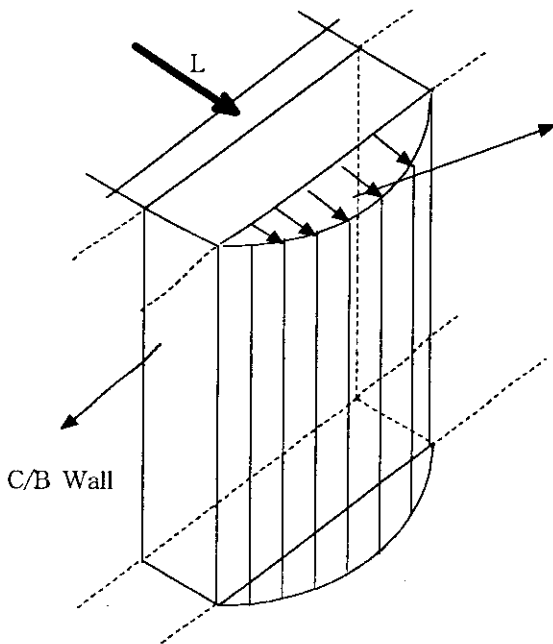
4.1.5 품질 관리





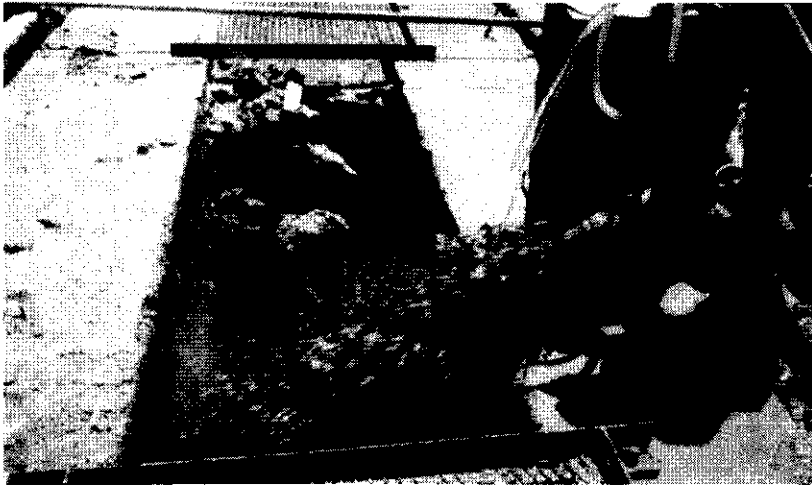
4.1.6 문제점 및 대책

- 1) 차수벽 형성시 굴착깊이에 따른 수압이나 토압을 고려하지 않은 Panel 길이 (L) 설계시 모멘트나 처짐에 의해 붕괴될 위험을 초래할 수 있음.



무리하게 L을 길게 산정할시
모멘트($M=wl^2/8$)는 L에 비례
하므로 붕괴위험 내재.
→ 설계시 깊이에 따른 토압 및
수압을 고려하여 적정길이를
산정한다.

2) 전석 공극층에 대한 C/B액의 적정량 투입



→ 간, 만조 시간대를 이용

→ 규산 등 급결제 첨가

4.2 Diaphragm Wall (Slurry Wall)

4.2.1 개요

지하 연속벽 공법은 지하 외벽 구조물을 축조하는 것으로, 굴착시 굴착면이 무너지는 것을 막고 지하수의 유입을 막기 위해 안정액(Slurry)을 채워넣고 작업하는 것이 특징이다. 특수하게 고안된 클램셀(Hang Grab) 및 Fraiser로 Trench를 굴착하여 철근 콘크리트를 타설하는 작업을 연속함으로써 지중에 연속된 철근 콘크리트벽을 형성하면 이 벽은 차수벽으로써의 역할을 수행하게 되며 본 구조체로 활용된다.

4.2.2 특징

1) 소음과 진동이 낮다.

소음과 진동의 발생은 거의 Hydro Fraiser 굴착시 한정되어 다른 향타 및 인발 등을 동원하는 공법에 비해 매우 낮다.

2) 벽체의 강성이 높다.

외부압에 의한 변형이 극히 적으며 주변의 지반이나 구조물에 유해한 침하를 적극 방지할 수 있다.

3) 차수성이 우수하다.

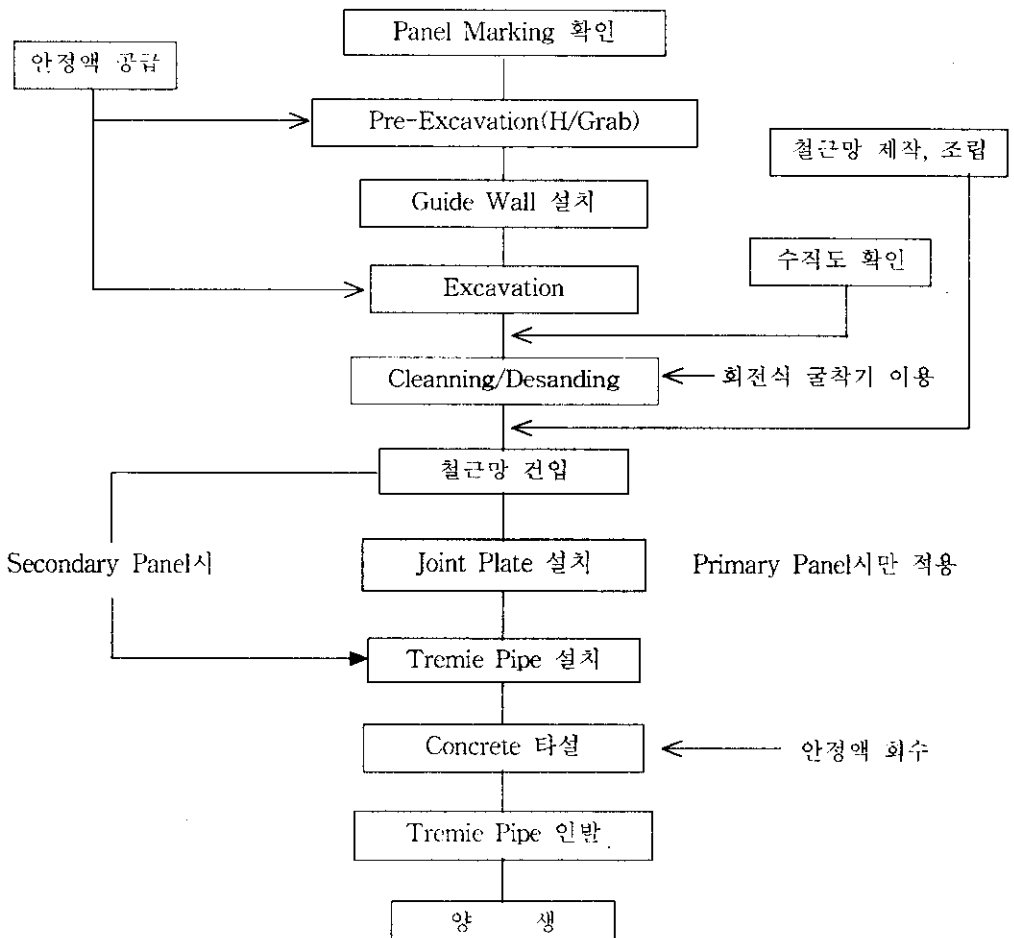
높은 차수성을 기대할 수 있으며 주위의 높은 지하수를 저하시키지 않을 수 있다.

- 4) 임의의 차수와 형상을 선택할 수 있으며 철근량 증감에 따라 벽체의 강성도 임의조정이 가능하다. 또한 Element의 조합이므로 구형이나 원형은 물론 여러가지 형상 구축이 가능하므로 용도에 따른 적절한 설계가 가능하다.

4.2.3 투입장비

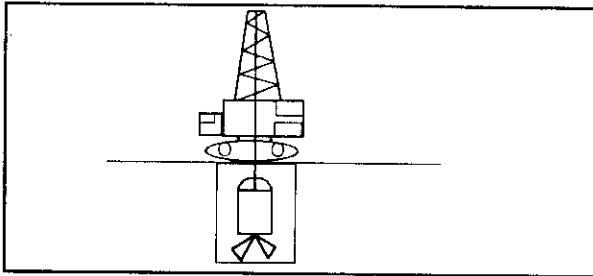
장비명	Ex'Crane	S/Crane	Back Hoe	Hydro Fraise	Hang Grab	Caviem	Tremie	Silo	Misson Pump
종 류	100 ton	100 ton	0.8	12000					40 HP
구 분	1EA	1EA	1EA	1SET	1SET	1SET	1SET	8EA	4EA

4.2.4 Diaphragm Wall Flow-Chart



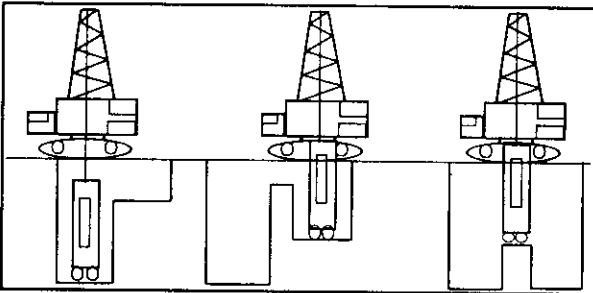
4.2.5 Diaphragm Wall 시공순서

선형굴착



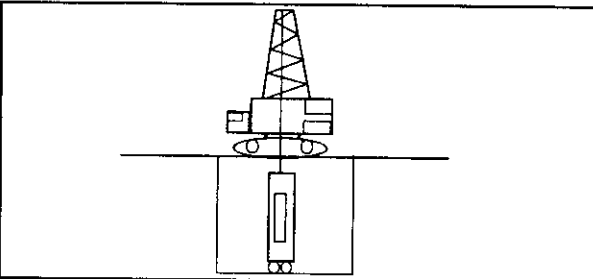
- 선형굴착전에 해당 면일의 크기 및 위치를 확인한다.
- 굴착작업중에는 반드시 안정액을 공급한다.

H/FRAISER 굴착



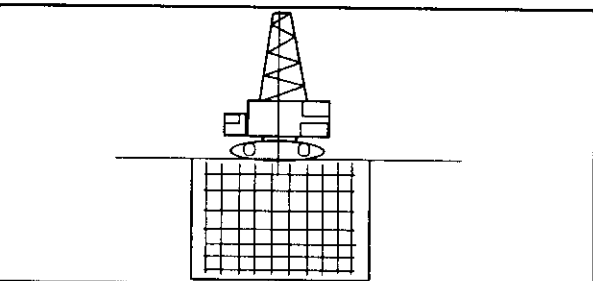
- 굴착중에는 정확한 위치에 GUIDE WALL을 견고하게 설치한다.
- 굴착중에는 DESANDER를 계속 가동시켜야 한다.
- 굴착함에 따라 적정량의 안정액을 공급해야 한다.
- 굴착작업후 수시로 TRENCH의 수직도 상태를 확인한다.

DESANDING 굴착



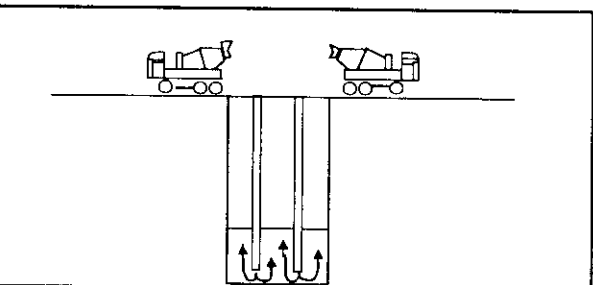
- DESANDING 작업이 완료되면 굴착한 TRENCH의 최종심도를 CHECK한다.

철근망 근입



- 철근망 근입시 사전 검측을 통하여 각 부분의 결속상태를 안전점검 하여야 한다.
- 2개이상 분리 제작된 철근망은 상/하부연결 과정에서 설계된 이동 길이를 정확하게 지켜야 한다.
- 철근망은 근입시 필요한 수량의 간격재를 반드시 부착해야 한다.
- TREME PIPE는 여러개의 짧은 PIPE로 연결되어 계획된 길이에 근입 되어져야 한다.

CON'C 타설



- CON'C 타설전 안정액 회수를 위한 별도의 PUMP를 설치한다.
- 최초의 CON'C타설은 2곳에서 동시 타설되어야 한다.
- CON'C타설은 설계높이보다 20-30cm 높게 타설한다.

4.2.6 문제점 및 대책

1) 슬라임처리 문제

콘크리트 타설전 충분한 Desanding을 실시하지 않을 경우 단기적으로 벽체 내부에 Sand Pocket이 생겨 내구성의 저하를 일으키고, 장기적으로 벽체의 침하를 일으키므로 구조물 안정에 위협하다.

2) 각 Panel별 Joint 처리문제

현재 시공관례상 End Pipe대신 Primary와 Secondary Panel의 Joint 개선으로 신·구 콘크리트가 밀착 시공되고 있으나, 부분 누수 현상으로 보수가 필요할 수도 있다.

3) Diaphragm Wall 수직도 문제

굴착중 굴착면의 붕괴로 굴착면의 수직에 대한 신뢰가 확보되지 못하므로 굴착면 붕괴에 대한 근본적인 대책이 필요하다.

4) 철근망 수직도 확보 및 근입시 변형

현장에서 선 조립된 철근망의 근입시 수직도 이탈에 의한 피복불량 및 근입시 변형이 문제되므로 품질확보 및 수직도 Check에 용이하도록 시공성 개선노력이 필요하다.

4.3 R.C.D 공법 (Reverse Circulation Drill Method)

4.3.1 개 요

2차대전후 서독에서 개발된 것으로 상부 8~10M정도는 케이싱(Stand Pipe)을 설치하고 그 이하는 2M이상의 정수압 (0.2kgf/cm²)과 굴착중에 발생하는 이수에 의해 공벽을 유지하면서 지반을 굴착하는 공법이다. 굴착은 특수한 비트를 회전시켜 지반을 굴착하고 일반적인 Rotary Boring 방법에서의 물의 흐름과 반대로 Drill Pipe로 순환수와 함께 굴착토를 흡상하여 지상으로 배출하며 배출된 순환수는 침전지에서 토사를 침전시킨후 다시 굴착공으로 Circulation 시킨다.

4.3.2 공법의 특징

1) 장 점

가) 경암굴착이 가능하다.

Drilling Bit의 우수한 굴착성으로 경암부 굴착가능

나) 선단지지력이 우수하다.

단면이 비교적 대형(현재 최대 Ø2000)이므로 지지력이 강대함

다) 깊은 굴착이 가능하다.

Rod의 이음에 의해 굴진되므로 근입심도 조정 용이함.

라) 수중기초가 가능하다.

선상에 탑재하여 수중기초 시공

마) 무소음, 무진동 공법이다.

환경공해나, 도심지공사에 유리하다.

2) 단 점

가) 전석층지반은 굴착이 어렵다.

Drill Pipe 직경보다 큰 호박돌이 있는 지반에서는 굴착 어려움.

나) 공벽붕괴로 인한 작업이 지연된다.

투수층이 있을 때 급격한 수위저하를 초래하여 공벽붕괴 우려

다) 수직도를 신뢰할 수 없다.

수직도 유지에 어려움 초래.

라) 다른 공법에 비해 공정이 복잡하다.

철골, 철근망 설치가 불편하다.

4.3.3 투입장비

장비명	Oscillator	R.C.D	Hammer Grab	Crane	Back Hoe	Casing	Skip Pan	Tremie Pipe	Welding M/C	Compressor
규 격	Ø2000	Ø2000	Ø2000	100T	0.8m'	Ø2000	30m'	8"	20KW	
수 량	1EA	2EA	1EA	2EA	1EA	5조	4EA	2SET	2EA	2EA

4.3.4 연구 과제

1) 소음, 진동 최소화

R.C.D Master에 따르는 제반 장비들의 소음정도를 더욱 감소시켜야 한다.

R.C.D가 무소음, 무진동 공법이라고 하나, 사실은 저진동, 저소음 공법이다.

2) 굴착능력의 개선

전석층이 출현하면 공벽이 무너져 공기가 지연되며, 이런 연암, 경암층의 굴진속도를 빠르게 할 수 있도록 개선되어야 한다.

3) 수직도의 신뢰성

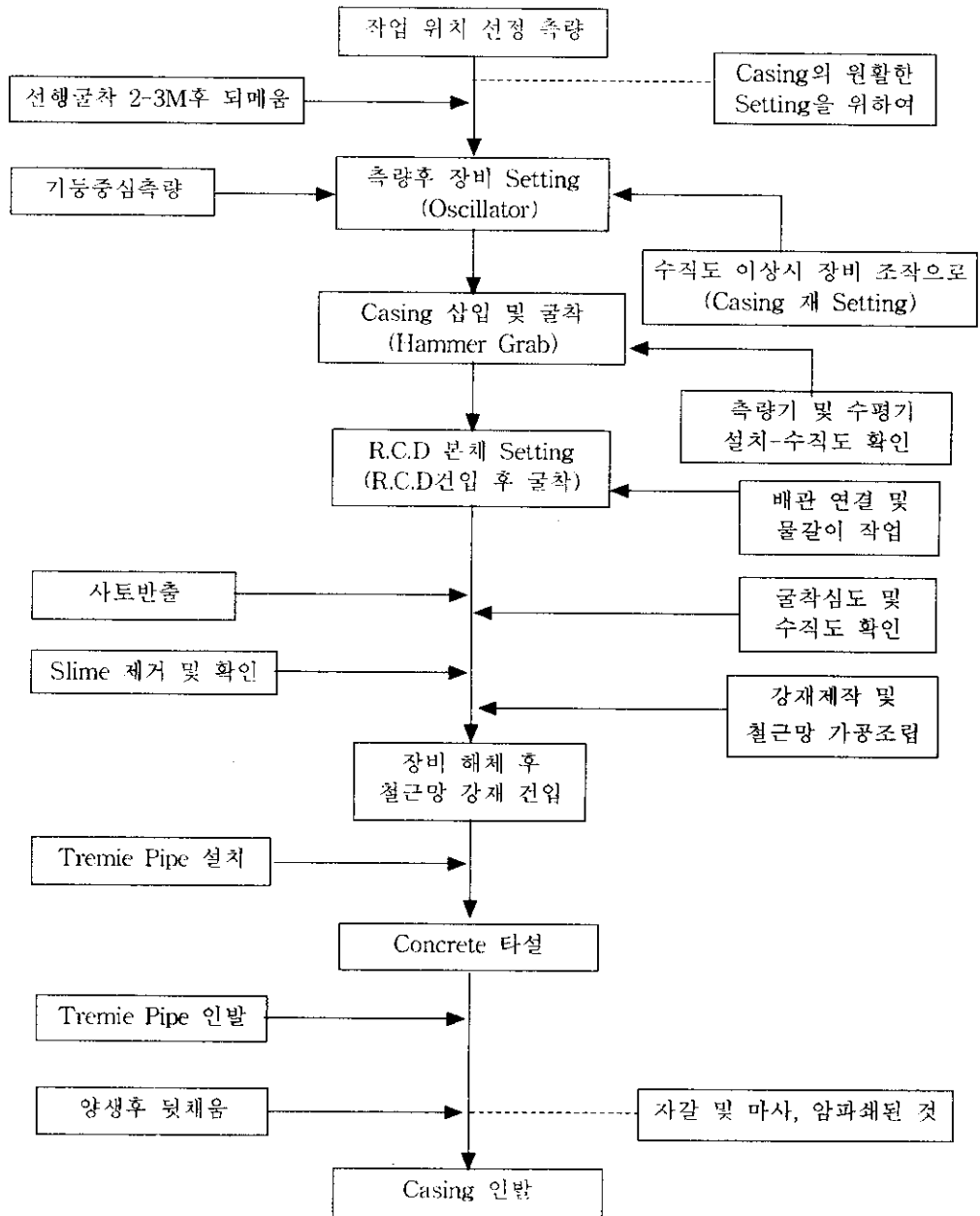
효과적으로 수직을 확인할 수 있는 장비의 개발이 필요하다.

: 초음파 Test 장비 등

4) 강한 Bit의 개발

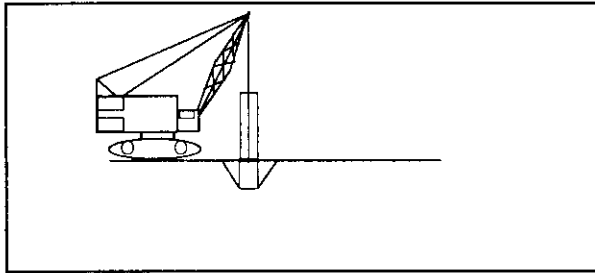
암반층에서 Bit가 잦은 파모나 파쇄로 굴착지연이 일어나며, 내마모성의 강력한 Bit의 개발이 시급하다.

4.3.5 R.C.D Flow-Chart



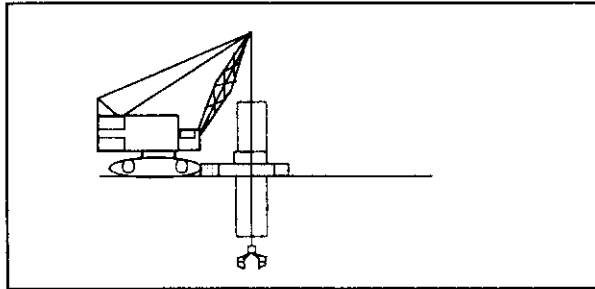
4.3.6 R.C.D 시공순서

측량 및
CASING 설치



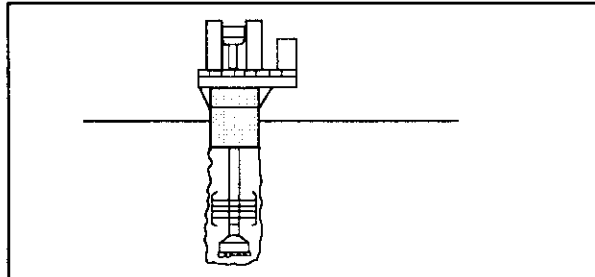
- CASING 설치전에 정확한 측량으로 PILE 위치를 선정한다.

CASING 굴착



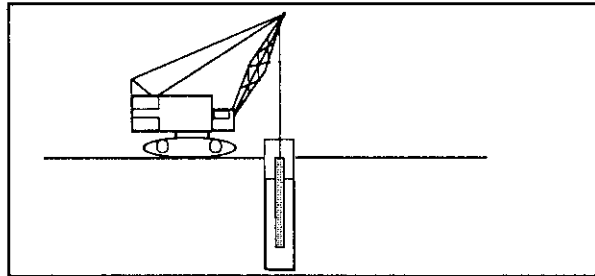
- OSCILLATOR와 HAMMER GRAB을 이용 암반까지 CASING을 근입시킨다.

R.C.D 굴착



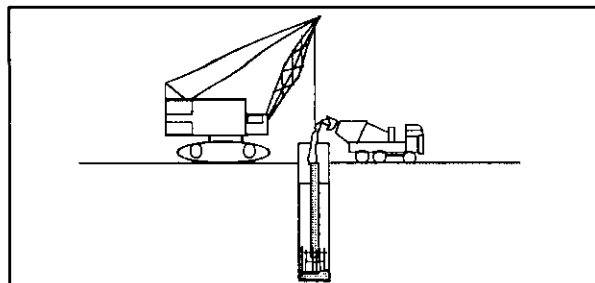
- 암반굴착 및 굴착완료 후 솔라임 처리

COLUMN 근입



- 미리 준비한 철근망울 연결조립하여 소정의 깊이까지 근입한다.

CON'C 타설



- TREMIE PIPE 설치 및 CON'C 타설
- TREMIE PIPE를 소정의 깊이까지 설치하고 CON'C를 타설한다.

이동식 비계공법(M.S.S)에 의한 교량 상판 시공사례

정릉천변 도시고속도로현장 소장 백종희

1. 서론

정릉천변 도시고속도로는 서울시내 도심반경 5km 범위내의 강변북로 북부에 위치하는 내부순환도로의 일부구간으로서 성북구 하월곡동에서 성동구 용두동까지 3.5km(폭 20 ~ 27m)구간의 정릉천을 따라 신설된 고가교량도로이다. 이 도로는 도심을 중심으로 하여 방사선형을 근간으로 형성되어 외부순환도로와 연결되며 수도권 지역의 위성도시와도 연계되어 주변의 균형발전을 도모하고, 차량의 급속한 증가에 따른 교통난 해소에도 도움이 될 것이다. 또한 공사 구간별로 신기술을 도입하여 시공되어 앞으로 예상되는 해외건설시장 참여기회가 더욱 넓어지리라 생각된다. 당 현장의 주요공정으로 하부공(69개 Pier), 상부공(P.C Box, Steel Box), 하천복개공, Ramp 진출입로(2개소), 횡단교량(3개소)으로 이루어져 있으며 특히, 모든 공정이 하천내에서 이루어진 관계로 호우시에는 급류로 인한 피해를 최소화하고자 많은 어려움을 겪었다.

1.1 공사개요

위 치 : 서울시 성북구 하월곡동 ~ 동대문구 용두동

기 간 : 1991. 12. 31 ~ 1999. 3. 31 (86개월)

설 계 : 제일 Eng.

감 리 : 유신코퍼레이션

총 연 장 : 3.5km (경간 50 ~ 60m)

구조 및 : 상부 - P.C Box : Lateral Slab(2.2km)

공 법 Steel Box : 사다리꼴 Box형(1.3km), 곡선이 심한 구간

하부 - P.C Box : Benote 공법 (Φ1,500 강관 파일 9공/개소)

Steel Box : R.C.D 공법 (Φ1,500 강관 파일 6공/개소)

진출입로 : P.C와 철골 병행 (2개소)

하천복개공 : 확대 및 파일기초 병행

1.2 설계기준

도로구분		도시고속도로 (도로 설계 기준령)	정릉천변 고속도로
설계도로(KPH)		100(80)	80
설계하중		DB-24	DB-24
도로폭	차선폭(m)	3.5	3.5
	중앙분리대(m)	2.0	2.0
	노면(m)	3.0	2.2
곡선	최소곡선반경(m)	280	200
	최소곡선연장(m)	140	140
	최소종단곡선장(m)	70	70
최대편구배(%)		6	6

2. 적용공법

2.1 M.S.S공법 (이동식 비계공법)

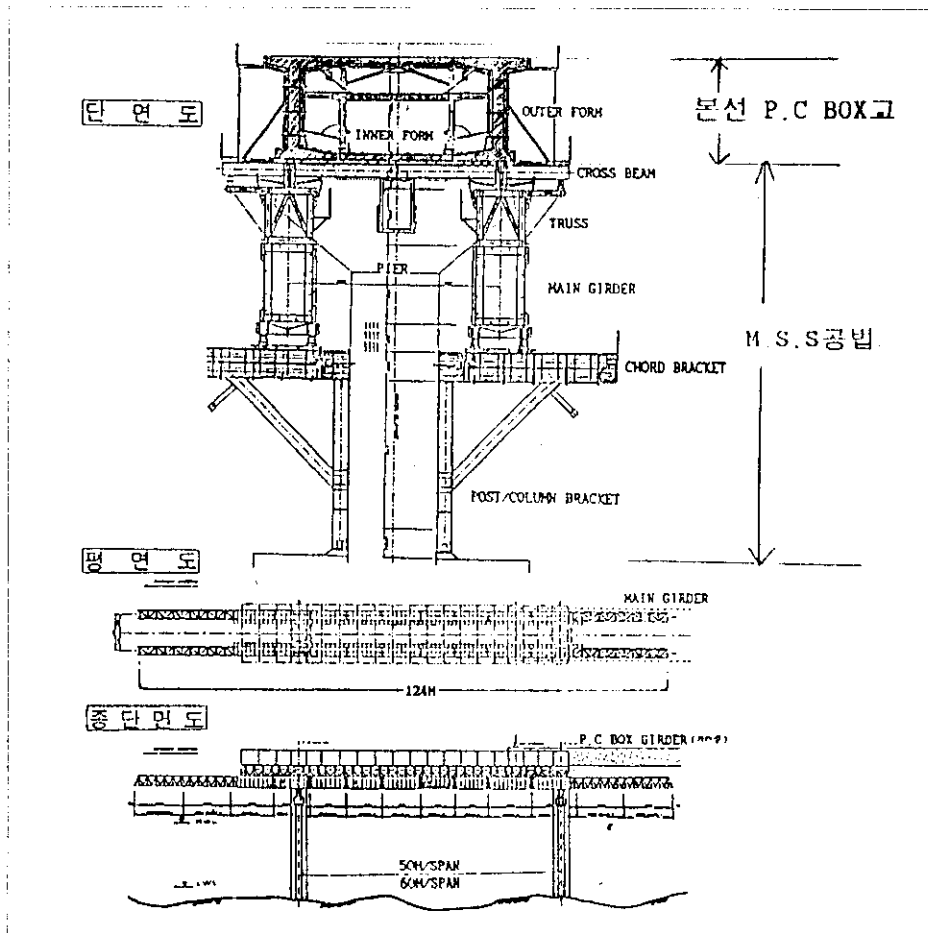
Movable Scaffolding System의 약자로 현장 타설시 지상 동바리를 사용하지 않고 Service Girder를 양 교각에 설치하고, 그 위에 강재 Girder 및 강재 거푸집을 설치한 후 콘크리트를 타설하여 한 경간(50 ~ 60m)을 완성하는 공법이다. 주로 Hydraulic Jack을 이용하여 전, 후진 구동이 가능하며, 당 현장 조건에 필요한 상하조정도 가능토록 하여 기존의 M.S.S 공법을 한단계 더 개량하여 시공하였다.

2.1.1 장점

- 1) 고도의 기계화 구동장치로 신속, 정확, 안전, 확실한 시공을 함으로써 공사비와 공사기간 단축 및 정확한 품질관리를 할 수 있다. 특히 교각 상단에서 작업이 이루어지므로 유수단면 확보가 되므로 호우시 피해를 피할 수 있다.
- 2) 산악, 계곡, 수상 등 주변조건에 관계없이 시공이 가능하다.
- 3) 단순 연속시공이므로 공기단축은 물론 장대교일수록 사용회수가 많아 경제적이다, 재활용이 반영구적이다.
- 4) 교각의 높이가 높을수록 경제적이다.

2.1.2 단점

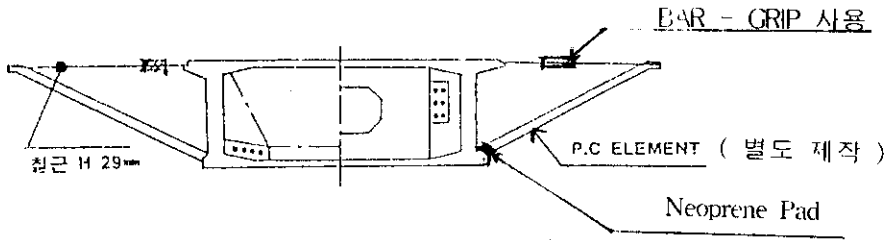
- 1) 인속작업이므로 Form의 변형여부를 매회 철저히 검수하여 보수·보강하여야 한다.
- 2) 곡선구간 $R=1,000$ 이하는 사용이 바람직하지 않다.
- 3) 고장시 수리기간이 길다.
- 4) 숙련된 기능공이 필요하다.



<그림 2-1> M.S.S 공법 개요

2.2 P.C Element 공법

P.C Element 공법은 M.S.S 공법으로 시공된 P.C Box Girder 상부에 Gantry Crane(10톤)을 설치하여 외부에서 제작된 슬래브 패널을 가설하고, Bar Grip을 사용하여 고정시킨 후 상부 슬래브 콘크리트(P.C Box 양측면)를 타설한다.



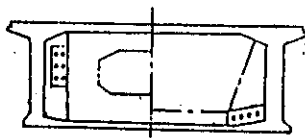
<그림 2-2> P.C Element 공법 개요

2.3 상부구조 시공 순서

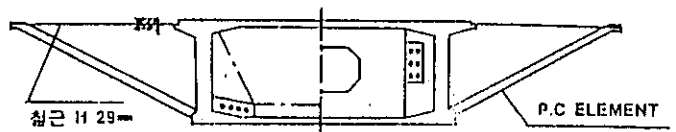
2.3.1 1차 시공

M.S.S 공법에 의해 P.C Box Girder(현장타설) 완료 후 Web 내부에 위치되는 좌우측 Bonded Tendon 8본을 인장한다.<그림 2-3>

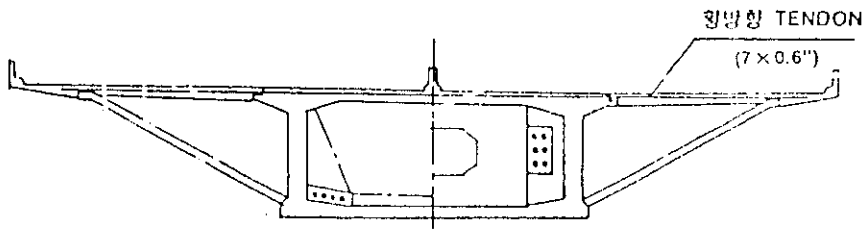
공정별 작업소요일수			
교각양단 보조 Girder 설치	3일(사전작업)	콘크리트 타설	1일
M.S.S Girder Launching	4일	Web 설치	5일(후속작업)
Form 및 동바리 조립	4일	인장(Bonded Tendon) 8본	1일(후속작업)
강선조립	1일	인장(Unbonded Tendon) 6본	1일(후속작업)
철근조립	7일		
총소요일수 : 24일/경간 (사전, 후속 작업일수는 포함치 않음)			



<그림 2-3> 1차 시공



<그림 2-4> 2차 시공



<그림 2-5> 3차 시공(완성)

2.3.2 2차 시공 (Element 조립)

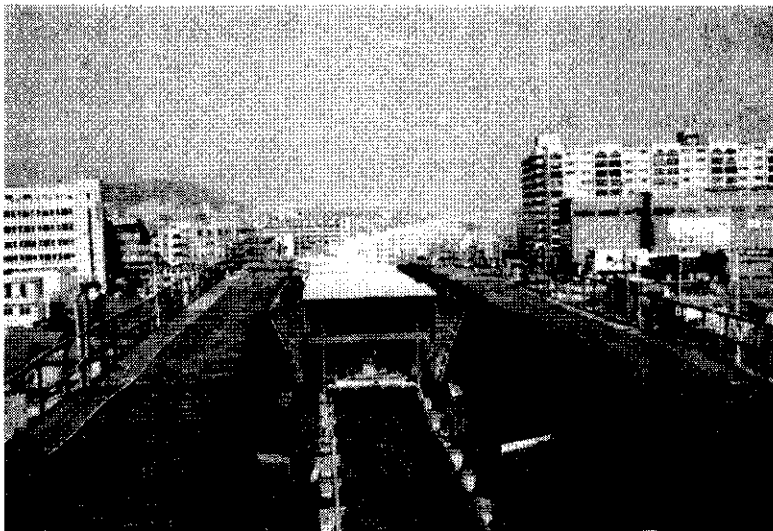
1차 시공 후 1 Bridge(460 ~ 480m)가 끝나면 Web 외부에 위치한 좌, 우측전체를 Unbonded Tendon 6본(12본)을 인장한 후 P.C Box 상부에 레일을 깔고, Gantry Crane을 설치한 후 기 제작된 좌, 우측 바닥판을 운반한다. Bar Grip을 병행하여 L=2.40m, B=9.10m, T=4.20m를 좌·우 순서에 준하여 조립한다. P.C Box와 Element 정착부위에 Neoprene Pad를 사용한다.(<그림 2-4>)

작업량 : 7EA/1일 총설치량 : 2,260EA

2.3.3 3차 시공(완성)

기 설치된 Element 내부에 거푸집을 설치하고, P.C Box 좌·우 양측(8.50m×2) 슬래브 마감을 한다.(<그림 2-5>)

작업소요일수 (1회 L=15m 타설)			
거푸집 설치	2일	철근 및 강선조립	1일
타설	1일	양생	3일
총소요일수 : 7일 (후속공정인 Lateral Slab 휨 Bonded 및 Unbonded Tendon 작업일은 계상치 않음)			



<사진 2-1> 철근배근 검측 후 내부 Form Launch

3. 중점관리 포인트

본 내부순환도로 건설공사는 국책사업으로써 국내에서 상위권의 8개 건설업체가 참여한 대형공사이다. 특히 전노선이 하천을 최대한 활용하여 교량으로 건설되어 보상비를 최소화하였으며, 구간별로 공법이 다른 관계로 독자적인 기술검토가 필요하였으며, 이에 따른 대형장비의 운용, 안전, 품질관리 등 모든 면에서 매우 중요한 공사이다. 특히 회사별로 능력의 비교가 되므로 공정 및 품질면에서 전직원이 최선을 다하였음을 자부하면서 그동안 시공을 하면서 주요 문제점 및 시공 중 중점관리 사항 등을 발췌 정리하여 향후 유사공사의 참고자료가 되기를 기대한다.

3.1 M.S.S Girder

본 구조물을 축조키 위한 대형장비로서 볼트, 너트 한 개의 연결상태도 소홀히 하여서는 안된다. 특히, 모든 부속이 유압식이므로 유압유의 누수발생시 필히 보수 완료 후 다음 단계작업에 임해야 한다. 처음 시작 당시 잦은 고장(유압용량 부족)으로 1회 싸이클이 60일 이상 걸렸으나, Main Pump의 용량을 증가시켜 1회 싸이클 시간을 24일로 줄일 수 있었다. 또한 여러개의 유압이 한 동작으로 이루어지므로 1개소의 고장이 전체 장비에 영향을 미쳐 자칫 소홀하면 대형사고로 연결될 수 있다. 따라서 철저한 유지 보수관리가 요구된다.

M.S.S 공법은 직선교량에서는 사용이 편리하지만 $R=1,000$ 이하의 곡선구간은 추가 가Bent가 요구되므로 사용이 적절치 않음을 참고하여야 한다.

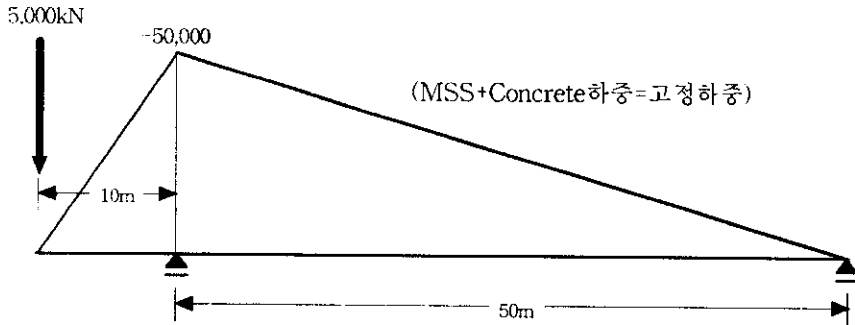
3.2 P.C Box 콘크리트 타설

콘크리트 배합설계에 대한 철저한 관리가 필요하다. 최소의 시멘트비로 소요강도를 만족시키는 것이 바람직하다. 일부 레미콘회사에서는 설계강도가 안나올 것을 우려하여 시멘트를 과다 투입하여 균열발생의 원인을 제공할 수 있으며, 골재원의 변경시 새로이 배합설계를 하여 공급받는 것이 좋다. 또한 진동기로 다짐이 불가능한 부분은 단단하고 가벼운 대나무 막대기를 이용하여 인력다짐으로 대체할 수 있다. 특히 이런 부분은 구조상 취약점인 경우가 많다.

그리고 연속 스패인 관계로 시공 조인트는 교각에서 10m 전방에 설치하였으며, 이에 따른 M.S.S 장비의 고정하중에 대한 검토를 하였다. M.S.S 장비는 상부가 끝난 후 제거되기 때문에 처음에는 M.S.S 장비로 인한 일시적인 힘만 존재하는 것처럼 보였다. 따라서 M.S.S 장비 하중으로 인해 어떻게 영구적인 내부력이

일어나는지 알아보기 위해 50m 스패를 예로 들어 계산하여 보았다.

- 1단계 : 첫 스패는 시공을 끝마쳤고, 두 번째 스패는 방금 타설한 것으로 가정하였다. 고정하중(M.S.S 장비 + 방금 타설한 콘크리트)은 캔틸레버 부위에 작용하고, 그 값은 5,000kN이며 시공조인트 위치인 교각에서 10m 지점이다.

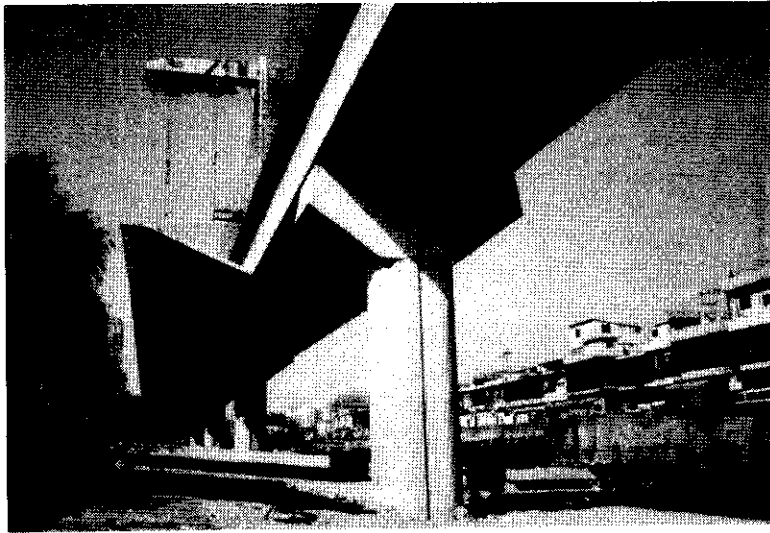


- 2단계 : 두 번째 스패의 콘크리트가 경화하고 프리스트레싱이 끝난 후 M.S.S 장비가 제거되었을 때를 가정하였다. 고정하중이 작용한 지점과 같은 위치에서 상향으로 5,000kN에 해당하는 힘이 작용한다. 이는 1단계에서 2단계로 넘어가는 과정에서 구조물에 작용하는 힘이 변하기 때문이다. 개략적인 모멘트는 0이 아니며, 장시간에 걸쳐 조금씩 감소하는 크리프 때문에 적지 않은 모멘트가 구조물에 영구히 남아있다.

3.3 P.C Element 설치

P.C Element 설치 작업 첫날은 정확한 위치에 고정시키는데 많은 시간이 소요되었다. 시공방법은 P.C Box 위에 Gantry Crane을 설치하고 종단 이동은 바닥 레일을 이용하였다. 횡방향이동은 크레인 자체 Boom으로 가능하였다. 제작장에서 현장으로 이동하고 하천바닥에 정리한 후 한 개씩 들어올려 P.C Box 하단 턱에 걸치는 작업이었다. 공장에서 제작된 P.C는 규격화된 것이지만 현장타설한 P.C Box는 정확성이 떨어져 부착부분에 이격거리가 생김을 발견하였다. Element 접착 부분에 기부착된 Neoprene Pad로는 불가능하므로 추가로 Lining Plate를 크기별로 별도 제작하여 보조로 사용하여 해결할 수 있었다. 또한 Gantry Crane은 작업 종료 후 브레이크 잠금을 꼭 확인하여 가능하면 로프로 견인해 놓는 것이 안전하다. 풍압에 의해 이동하면서 전도되면 대형사고로 연결될 수 있으므로 주의를 요

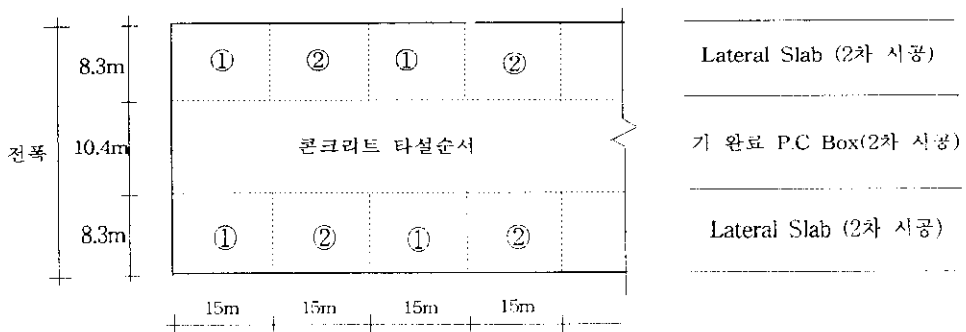
한다. 당 현장에서는 풍압에 의해 실제 150m를 이동하였으나, 레일 끝에 걸림 받침대를 설치하여 안전사고를 예방할 수 있었다.



<사진 3-1> P.C Element 설치

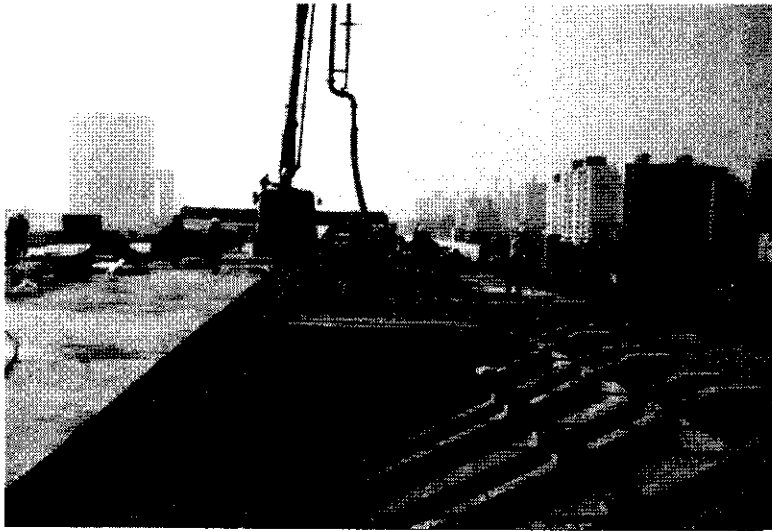
3.4 Lateral Slab 콘크리트 타설

먼저 M.S.S를 사용하여 P.C Box를 설치한 후 좌·우 측면에 P.C Element를 거치하고 Lateral Slab를 완료시키는 작업으로 작업방법은 1회 타설길이가 15m로 양측 균형을 맞춰가면서 타설하고, 타설방법은 15m 격간으로 한다.



1차 타설 후 격간으로 2차 타설을 하였고, 양생방법은 Caring Compound를 뿌린 후 양생포를 덮고 살수 양생을 철저히 시행하였다. 일주일 후 거푸집을 제거한 결과 1차 타설구간은 3~4개의 가는 균열이 발견되었고, 2차 타설구간은 1.5m 간

격으로 3~5m 길이의 Hair Crack이 발견되었는데, 슬래브 바닥부분이 심하였다. 이로 인하여 발주처의 요구에 의해 전문가(학, 관, 업, 외국인감리)로 검사팀이 구성되었다.



<사진 3-2> Lateral Slab 콘크리트 타설

3.4.1 원인

1차 타설구간은 1면의 자유단(그림의 점선)만 구속되었고, 2차 타설구간은 3면의 자유단이 구속되어 있어서 신·구 콘크리트 사이에 온도차가 발생한다. 설계강도 400kgf/cm^2 의 콘크리트(시멘트량 : 488kg/m^3)가 경화하기 시작할 때 수화열이 발생하여 콘크리트의 온도가 상승하게 되는데, 수축시 구속면이 많은 2차 타설구간에서 더 많은 균열이 발생하였다.

3.4.2 대책

- 1) 콘크리트 배합시 차가운 물을 사용한다.
- 2) 초기 경화시 차가운 물을 자주 뿌려 수화열을 낮춘다.
- 3) 레미콘 공급처에 감리단과 공동으로 정확한 시멘트량을 확인한다.
 - 고강도 배합시 시멘트량을 과다 투입하는 예가 있다.

3.4.3 결과

균열 발생율이 50% 줄어들었으며, 균열부위는 현장실물 모형실험에 의해 초점

도(D-2001) 에폭시수지를 이용하여 메모리코 주입공법으로 보수하였고, 완료 후 코어테스트를 해본 결과 양호함을 확인하였다.

3.5 교좌장치 설치시 유의사항

일반적으로 교좌장치의 중요성을 인식하더라도 공중의 규모상 부대공사 정도로 인식하는 기술자가 많은데 이 기회를 빌어 중요사항을 당부하고자 하니 참고가 되었으면 한다. 설치방법은 설계조건에 따라 차이가 있으므로 생략하고 시공시 꼭 확인할 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 온도변화와 경간길이에 의한 신축량 산정에 의해 설치되었는가 확인한다.
- 2) 처음 설치시 임시 조립상태이므로 상부 슬래브가 완료되면 즉시 임시 조립 상태를 해제한다. 미 해제시 상부 및 하부 균열발생의 원이 되며 특히, 강교에서는 조립볼트에 파쇄가 일어난다.
- 3) 설치시 특히 저판 바닥의 뒷채움 상태를 철저히 확인한다. 미 충전시 교좌 장치의 변형과 이로 인한 상부 슬래브의 변형으로 부대비용이 발생한다.
- 4) 상판 시공 완료 후 작동여부를 면밀히 기록하여 이상 유무를 확인한다.

3.6 슬래브 콘크리트 타설시 표면 고르기

콘크리트 타설전 정확한 측량에 의하여 타설위치와 슬래브 두께를 유지하여야 함은 특별히 강조하지 않아도 기술자라면 잘 아는 사항이지만 현장여건상 기능공들의 기능부족과 협력업체의 경험부족으로 표면의 높고 낮음이 심한 경우가 많다. 특히 표면이 아스팔트 포장으로 설계되어 있는 경우 포장으로 레벨을 조정한다는 안이한 생각을 하는데, 대다수의 교량 아스팔트 포장두께는 5~8cm 정도임을 감안할 때, 조절층의 두께가 한계가 있으므로 설계두께보다 과다 포설할 때는 구조검토가 선행되어야 하며, 표면 평탄성의 불량 등 추가 부대비용이 발생하는 원인이 될 수 있다.

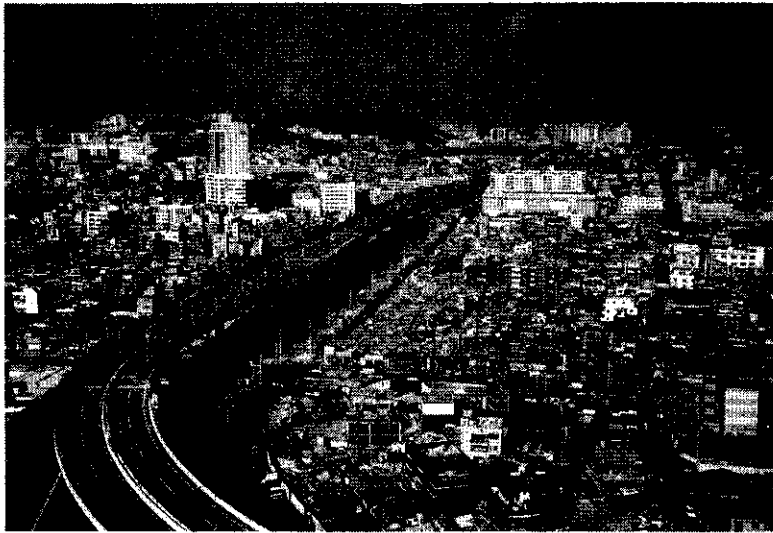
따라서 이에 대한 대책으로 타설전 각재(2"×3")를 5m 간격 종·횡 방향으로 측량결과에 따라 설치하고 콘크리트 타설후 미장 작업시 관리를 철저히 하였다. 특히 콘크리트 작업은 1회로 마감된다는 점을 유념해야 할 것이다.

4. 맺음말

내부순환고속도로는 서울시 중심부를 통과하는 1,200백만 시민의 공공시설물로

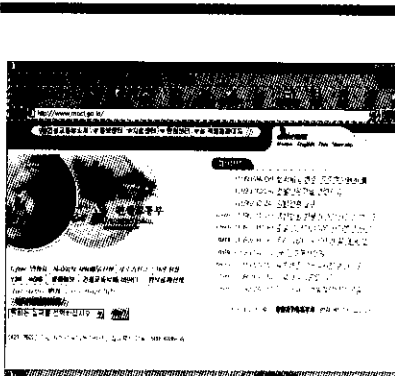
서 안전과 편리함을 제공하는 대형교량공사이다. 1992년 1월에 착공하여 1999년 3월에 준공 개통할 때까지 공사계획 및 시공에 관계, 학계, 업계의 국내 최고기술진들의 연구와 세심한 검토로 완성된 작품임을 자부한다. 품질관리 측면에서는 철저한 시공계획에서부터 세밀히 검토 후 시공에 임하였으며, 국내 최초로 도입된 서구식 교량을 100% 국내 기술진에 의해 성공적으로 시공하였다. 또한 공사 피크시에는 하루 300여명의 인력이 동원되었고, 이에 따른 자재조달과 협력업체의 인원관리, 직원들의 철저한 품질관리는 많은 경험을 얻을 수 있었다. 특히 전직원들의 아이디어로 설계변경을 이끌어 내어 이로 인한 원가절감도 이룰 수 있었다.

그동안 성공적인 공사를 위해 불철주야 노력한 현장 및 본사의 전직원 및 공사에 협조해 주신 지역주민들 덕택으로 무사히 준공하게 되었음을 감사드립니다.



<사진 4-1> 공사완료 후 전경

건설관련 유용 SITE



건설교통부

<http://www.moct.go.kr/>

- 건설교통부소개
- 홍보센터
- 자료센터
- 민원센터
- 실·국별 홈페이지
- 시사정보 자동배달신청
- 공개자료실
- 건설교통관련 법령정보제공
- cyber 민원실
- 질의회신자료
- 각종 통계자료
- 정보공개신청
- 용어설명



대한건설협회

<http://www.cak.or.kr/>

- 협회소개
- 회원사안내
- 법령 및 해석
- 회원정보자료
- 공개자료
- 게시판
- 홍보마당
- 관련기관 링크
- 회원사정보(회사개요,도급순위등)
- 법령정보(법,시행령,시행규칙,고시)
- 공개자료(통계, 품셈 등)
- 건설공사관련 질의회신
- 최신 건설동향, 뉴스
- 보도자료, 월간건설 정보 제공
- ID/PASSWORD는 기술연구소에 문의



대한건설협회 서울지회

<http://www.scak.co.kr/>

- 공지사향
- 공사정보
- 업체정보
- 법령 Q&A / 건의
- 자료실
- 건설관련기사
- 연계SITE
- 공사입찰정보, 공사발주계획
- 기업정보(경영,기술자,상벌현황 등)
- 법령관련 질의회신(유권해석)
- 각종서식자료, 기술자료 제공
- 일간건설 자료제공
- ID/PASSWORD는 기술연구소에 문의

종합건설정보망

<http://www.kcn.or.kr/>



- 정부/공공기관
- 학교/연구기관
- 협회/학회
- 도서관/서점
- 건설업체
- 생활정보
- 가상체험관
- 자료실
- 각종 건설정보망 연계
- 건설기술정보
- 중소건설업체정보
- 건설뉴스
- 건설데이터베이스
- 건설자재정보

건설기술정보센터

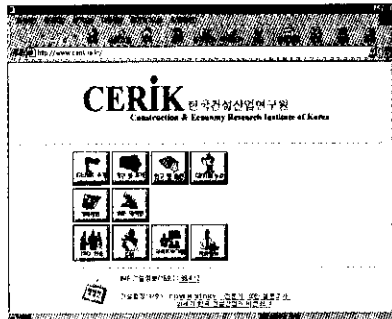
<http://db.kict.re.kr/>



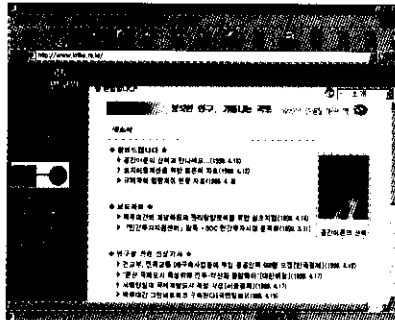
- 건설자재정보
- 건설공법정보
- 정부인정신기술정보
- 설계심의정보
- 건설동향정보
- 연구개발정보
- 건설특허정보
- 건축물정보

한국건설산업
연구원

<http://www.cerik.re.kr/>



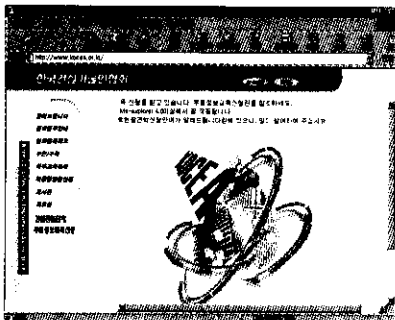
- 연구 및 출판자료
- 기획자료
- 건설산업 최근동향
- ISO 인증
- CM 관련자료
- 건설정책자료
- 연구보고서자료
- 건설광장 출판자료
- 건설관련 보도자료
- 건설관련 교육프로그램
- CM cyber 자문



국토연구원

<http://www.krihs.re.kr/>

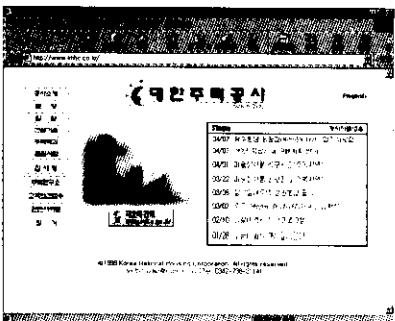
- 연구원보고서
- 보고서원문 다운로드
- 도서검색
- 월간 국토, 국토연구 등 잡지자료
- 산업입지 정보시스템
- 건설기술정보 제공
- 관련 신문기사
- 정기간행물자료
- 통계자료



한국건설기술인 협회

<http://www.koceia.or.kr/>

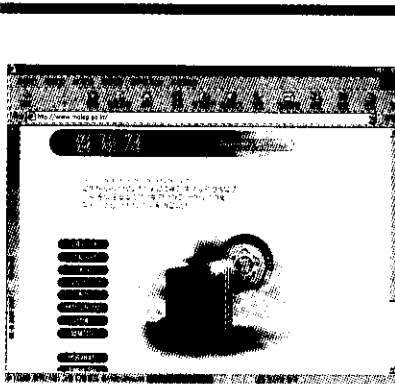
- 직무교육조치
- 건설경력관리관련
- 제증명발급신청
- -법규
- 협회통계자료
- -절차
- 건설기술자료실
- -별책
- 각종 신청서류양식
- 무료교육정보
- 건설단체 무료교육 신청
- 구인/구직



대한주택공사

<http://www.knhc.co.kr/>

- 분양정보
- 입찰정보
- 주택관련백과
- 주택건설기술
- 품질시험
- 주택연구소 link



법제처

<http://www.moleg.go.kr/>

- 종합법률정보
- 최신개정법령
- 행정심판정보
- 입법예고
- 법제정보
- 법제연구자료
- 모든 법률정보 및 최신 개정법령 제공



산업기술정보원

<http://203.250.245.5:8000/mainFrame.html>

- 정보검색
- 정보서비스
- 각종 과학기술정보, 산업재산권정보
- 연속간행물자료의 원문복사 및
- 메일
- 서비스신청가능

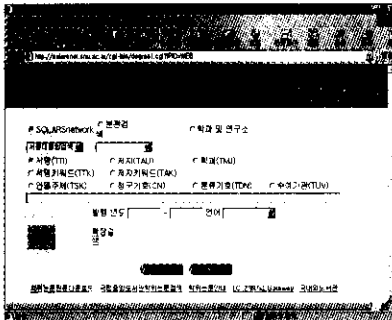
- 회원등록시 기술연구소에 문의요망



연구개발정보센터

<http://www.kordic.re.kr/>

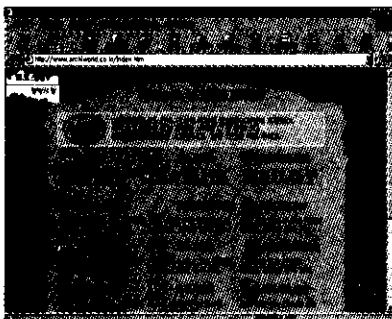
- 이공계 석박사논문
- 과학기술문헌정보
- 과학기술도서정보
- 해외과학기술정보
- 연구보고서



서울대학교 논문 검색

<http://solarsnet.snu.ac.kr/cgi-bin/degree1.cgi?IPID=WEB>

- 건축, 토목관련자료 검색
- 95-99년 원문download



아키월드

<http://www.archiworld.co.kr/index.htm>

- 건설자재
- 설계사무소, 건설회사
- 기관, 학회, 단체
- 감리, 엔지니어링회사
- 건설관련서적
- 건설관련 site
- 건축, 토목관련 업체 및 제반정보 제공



인플러스사

<http://www.inplus.com/>

- 토목정보웹진
- 건축정보웹진
- 환경정보웹진
- 토목, 건축관련 시사상식
- 토목, 건축관련 시험정보 및 문제 제공
- 토목, 건축관련 유용 site 모음

건설자재연구소

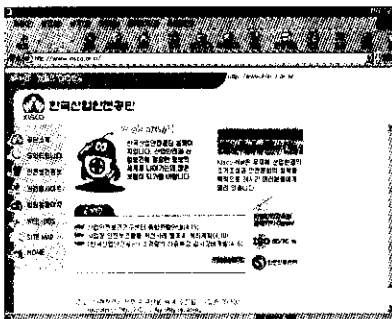
<http://www.jajae.co.kr/>



- 건설자재정보
- 공통자재
- 토목자재
- 건축자재
- 기계설비
- 전기통신
- 기계공구
- 공해방지/소방

한국산업안전공단

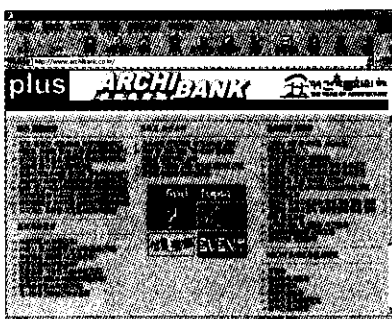
<http://www.kisco.or.kr/>



- 안전보건정보
- 건설안전기술기준 및 지침
- 건설안전관련 질의
회신

건축자료은행

<http://www.archibank.co.kr/>



- 건축자재
- 입찰정보
- 건축자료실
- 건축적산실무

통합된 콘크리트구조 설계기준 내용 요약

이번에 개정된 콘크리트구조 설계기준은 1996년도 토목학회에서 발간한 “콘크리트 표준시방서 설계편”과 1997년도 건축학회에서 발간한 “철근콘크리트 구조계산 기준”을 통합하여 “콘크리트구조 설계기준”으로 집필되었다. 지금까지 토목·건축분야에서 각각 따로 적용하던 콘크리트구조 설계기준이 이 기준에 의해 통일되게 되었다.

1. 콘크리트구조 설계기준의 장별 구성

1. 총칙(설계일반)	9. 프리스트레스트 콘크리트	17. 합성콘크리트 부재
2. 재료	10. 슬래브	18. 셸과 절판부재
3. 설계하중 및 하중조합	11. 벽체	19. 구조용 무근콘크리트
4. 사용성 및 내구성	12. 기초판	20. 구조물의 안전성 평가
5. 철근상세	13. 옹벽	21. 내진설계시 특별고려사항
6. 휨 및 압축	14. 아치	부록 I. 별도설계법
7. 전단과 비틀림	15. 라멘	부록 II. 장방형 슬래브의 휨모멘트 계수
8. 정착 및 이음	16. 프리캐스트 콘크리트	

2. 주요 기호의 조정

기호의 정의	통합기준	표준시방서	계산기준
콘크리트 압축응력	f_c	σ_c	-
콘크리트 인장응력	f_t	σ_t	-
콘크리트 지압응력	f_b	-	-
콘크리트 설계기준강도	f_{ck}	σ_{ck}	f'_c
콘크리트 배합강도	f_{cr}	σ_r	f'_{cr}
콘크리트 조깅인장강도	f_{sp}	σ_{ct}	f'_{ct}
콘크리트 압축강도	f_{cu}	-	-
콘크리트 파괴계수	f_r	σ_{ru}	f_r
철근의 설계기준 항복강도	f_y	σ_y	f_y
프리스트레싱 긴장재의 인장강도	f_{pu}	σ_{pu}	f_{pu}

3. 조정된 주요 용어

ACI 318	콘크리트구조 설계기준	철근콘크리트구조 계산기준	콘크리트 표준치명서
balanced reinforcement ratio	균형철근비	평형철근비	평형철근비
bundled bars	다발철근	묶음철근	다발철근
camber	삐뚤음	치올림	삐뚤음
closed stirrup	폐쇄스터럽	폐쇄형스터럽	폐합스터럽
corbel	내민받침	코벨	코벨, 내민받침
cover	피복두께	피복두께	덮개
dead load	고정하중	고정하중	사하중
deep beam	깊은보	흠이 큰보	높이가 큰보
drop panel	지판	지판	드롭 패널
effective depth	유효깊이	유효흠	유효깊이
factored load	계수하중	계수하중	극한하중
frame	골조	골조	뼈대
hook	갈고리	훅크	갈고리
live load	활하중	적재하중	활하중
middle stirrup	중간대	주간대	중간대
modification factor	보정계수	보정계수	수정계수
moment magnification factor	모멘트확대계수	모멘트증대계수	모멘트확대계수
non-sway frame	횡구속골조	비틀리지된 골조	가로흔들이가 방지된 뼈대
rectangular beam	직사각형보	장방형보	직사각형보
strength reduction factor	강도감소계수	강도저감계수	강도감소계수
shearhead	전단머리	전단주두	전단머리
span	경간	스팬	지간
splice	접침이음	김침이음	접이음
splitting tensile strength	쪼갠인장강도	쪼갠인장강도	활렬인장강도
strain	변형률	변형도	변형률
support	받침부	지지부, 지점	받침부, 지점
sway frame	비횡구속골조	비틀리지되지 않은 골조	가로흔들이가 방지되어 있지 않은 뼈대
web	복부	웹	복부
welded wire fabric	용접철망	용접철망	용접강선망

4. 단위의 표시

단위의 표시는 원칙적으로 c.g(질량), s 단위로 표시함.

- 1) 하중, 전단력, 축력 등 : kgf 또는 tonf
- 2) 휨모멘트 : kgf · cm 또는 tonf · m
- 3) 설계기준강도, 배합강도, 응력 등 : kgf/cm²
- 4) 배합설계시 각재료의 단위량, 염화물 이온량, 단위 용적질량등 : kg/m³

5. 본문의 구성 및 주요 통합내용

- 1) 기존의 건설교통부 제정 콘크리트표준시방서 “시공편”을 “콘크리트표준시방서”로 개칭하고, 내용구성은 총22개장과 부록의 “구조물의 유지관리”로 편성하였으며 모든 장은 건설교통부에서 정한 건설공사 기준운영체계에 따라서 “1. 일반사항, 2. 재료, 3. 시공” 항목으로 구성하였음.
- 2) 콘크리트배합설계시 기존의 토목 및 건축분야에서 사용해 오던 배합강도 결정방법을 “현장 콘크리트의 압축강도 시험값이 설계기준강도 이하로 되는 확률은 5% 이하여야 하고 또한 압축강도시험값이 설계기준강도의 85% 이하로 되는 확률은 0.13% 이하여야 한다”로 통일시켰음.
- 3) 고강도콘크리트에 관한 장이 신설되었으며 고강도 콘크리트의 설계기준강도 값을 400kgf/cm²이상으로 규정하였음.
- 4) 본문에서 기술되는 “별도로 정하는 기준(제목이 제시되어 있음)” 등은 추후 해설편을 집필할 때 부록으로 전체 규정을 제정하여 수록할 예정임.
- 5) KS F의 일부가 폐지 또는 신설됨에 따라 이를 반영시켰고 제의 호칭 No.4 … No.100 등은 모두 삭제시켰음.