



터널사고와 정보화 시공



김학문
단국대학교 공학부
토목환경공학과 교수

1. 서론

지난 세기 몇 년간 국내·외적으로 지반과 관련된 많은 터널사고들을 접할 수 있었고, 특히 국내의 사고인 경우 많은 안전진단 보고서들이 발간되었으나 그와 유사한 사고를 예방하는 차원에서 조사, 설계, 시공 및 유지관리 단계를 위한 정책적, 기술적 혹은 안전관리 확보 차원의 대책제시가 미비하였음을 부인할 수 없다.

특히 지반공학과 관련된 사고의 경우 안전성의 확보가 그 어느 분야보다 중요함을 알고 있음에도 이러한 사고방지를 위한 대책은 미비한 실정이다. 앞으로 이러한 문제들을 최소화하기 위하여 체계적인 정보화 시공의 활용방안을 제시하고자 한다.

정보화 시공에 대한 체계적인 적용과 시행지침 설정을 1969년 9회 Rankine Lecture에서 Peck이 저술한 "Advantages and Limitations of the Observational Method in Applied Soil Mechanics"에 발표하였으며, 그는 정보화시공법에 대하여 시공진행중 최대의 경제성을 허용하고 안전성을 확인하여 설계를 합리적으로 보완

해주는 방법으로 소개하였고, 제한 사항들은 있으나 안전을 회생시키지 않으며 시간과 공사비를 절약할 수 있는 훌륭한 방법이기 때문에 모든 지반공학 기술자들에게 널리 알려질 필요가 있다고 하였다. 제한사항 중의 하나로는 과업 특성상 시공 중에 설계변경을 하용하지 않는 경우이며, 이 방법에 대한 간략한 적용과정은 다음과 같다.

- ① 지반에 대한 성상과 특징을 상세하지는 않더라도 충분히 조사.
- ② 발생될 수 있는 가장 가능한 조건들과 가장 불리한 조건의 차이를 평가(주로 지질 및 지반조건 영향).
- ③ 발생가능 조건하에서 가정된 공식을 사용하여 설계 방향 설정.
- ④ 가정된 공식으로 설계하고 시공중 측정해야 될 계측 계획 설정.
- ⑤ 지반과 주변 조건을 고려하여 가장 불리한 경우의 설계를 상기 계측 계획과 일치시킴.
- ⑥ 현장 측정값과 가정된 공식하의 설계값 사이에 고려 해야 될 만큼의 차이가 발생시에 설계 변경방법과 조치해야 될 방안을 강구.

- ⑦ 적합한 양의 계측시행과 현장조건과의 비교 분석.
 ⑧ 현장조건에 부합하도록 설계의 수정.

Powderham(1996)은 영국토목학회가 발간한 “The Observational Method in Geotechnical Engineering”에서 Peck(1969)이 제시한 Observational Method의 활용을 현재까지 만족스럽게 발전시키지 못한 이유를 계약상의 복잡성과 위험에 대한 공정한 책임소재 관계와 정보화시공 사례의 자료부족과 지반조건에 대한 불신임 등으로부터 야기되는 기술적 자신감의 결핍등이 원인이라고 평가하였다.

국내에서는 부산, 서울지하철, 대형 원자력 발전소, Dam 및 대형구조물 등 주요 구조물의 거동과 안전성 평

가를 위하여 1980년 중반부터 체계적인 계측을 수행한 바 있으며 최근 대부분 도심지 터널시공시에는 정보화시공을 위한 많은 자료들의 수집 및 정리가 가능해졌다.

정보화 시공의 목적 및 그 필요성에 관하여 진행사항을 국내외 터널사고 사례에 비추어 분석 평가하고자 한다.

2. 정보화 시공과 사고방지에 대한 영향

지반과 관련된 터널공사들은 그 준비과정에서부터 조사, 설계 및 시공에 이르기까지 많은 불확실한 요인을 가지고 있으며, 그중 몇 가지의 부정확한 요인으로도 크고 작은 문제로까지 확산될 수 있다.

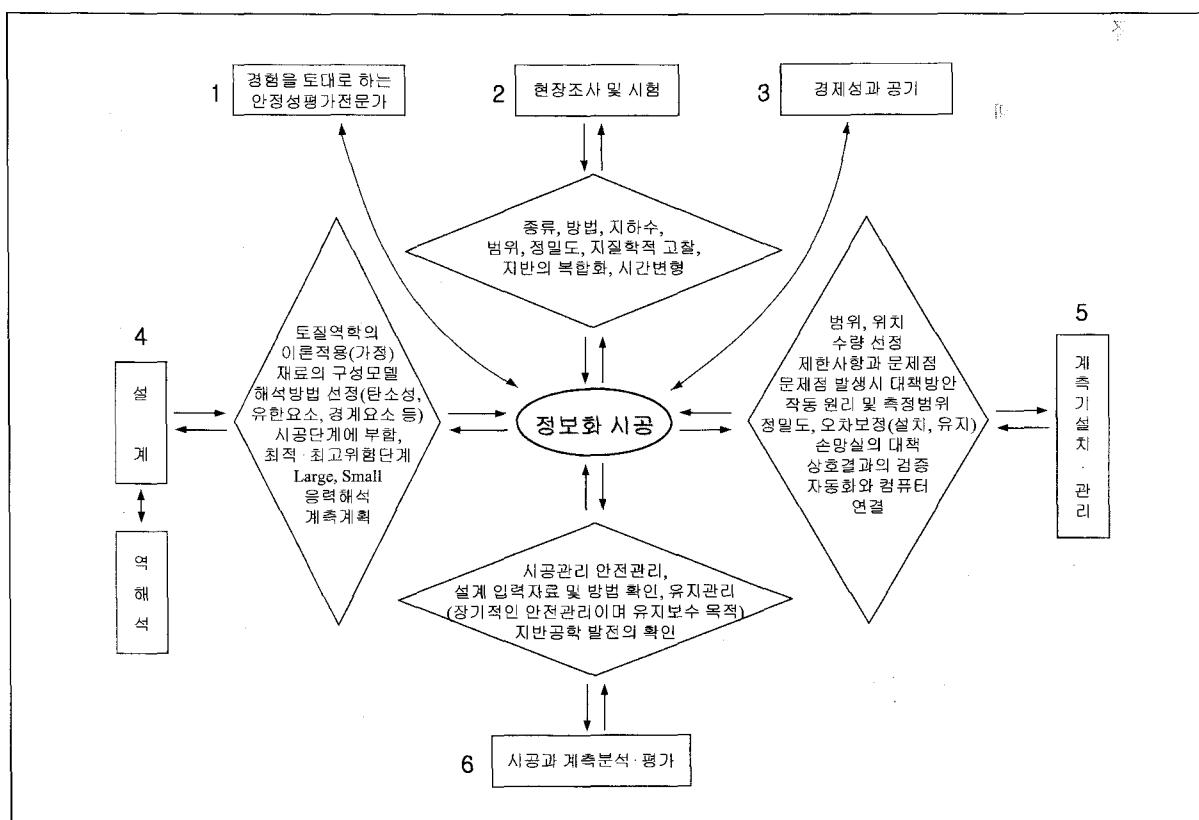


그림 1. 정보화시공에 연관된 요소

그림 1에서와 같이 정보화시공에 연관된 6가지 요소들에 대하여 그 특성 및 불확실성 즉, 문제점들을 점검해보고 이들의 영향을 사고예방 및 방지 차원으로 유도될 수 있는 방향으로 설정해 볼 필요가 있다고 생각된다.

2.1 경험을 토대로 하는 안정성 평가 전문가

정보화시공의 성공적 활용과 이에 따른 사고방지의 첫 번째 요소인 경험을 토대로 하는 안정성 평가 전문가의 양성은 필수적이라 하겠다.

지반공학 관련 설계 및 시공에서는 매 단계마다 어려운 선택과 결정이 요구되며, 그 결과의 향방에 따라 경제성은 물론 공사의 장, 단기 안정성에 상당한 영향을 미치게 된다.

주어진 조건하에서 가장 합리적인 선택과 결정을 내리기 위해서는 정보화 시공의 요건이 되는 설계, 시공, 계측 및 예비(위험)대책에 관한 복합적인 경험을 갖춘 전문가를 필요로 한다.

우선 지반공학에서의 경험은 어떻게 얻어지며 어떻게 정의되는 것일까?

Lambe과 Whitman 교수의 저서 Soil Mechanics (1969)에서는 “경험이란 단순히 행하는 것이 아니고, 행하는 것에 대한 검증이 뒤따라야 된다. 토목공학자인 경우 지반에 관한 문제를 풀고, 설계를 시행한 후 현장의 실제상태를 측정하여 비교 평가하였을 때 비로소 경험을 얻을 수 있다.”라고 언급하고 있다.

그러므로 설계경력 + 시공경력 + 계측경력 + 평가경력 모두가 복합적으로 갖추어져 있을 때 비로소 경험을 얻을 수 있는 것이다. 과연 우리는 이러한 복합적인 기능을 수행할 수 있는 정보화시공을 위한 전문가들을 양성하고 있는 것일까?

새로운 21세기에는 정보화 시공을 성공적으로 수행하고 사고를 방지할 수 있는 복합적인 경험을 갖춘 전문인의 확보가 시급하다고 사료된다.

(What we have learned from the past can serve the future)

2.2 현장조사 및 시험

정보화 시공과 연계되는 현장조사 및 시험은 초기조사나 상세조사의 개념 외에도 역해석이나 재설계 과정에서 추가조사나 공사안전 관련조사가 뒤따라야 될 것이다.

이러한 조사나 시험은 공사의 중요도나 시방조건에 부합되도록 그 범위, 한계, 위치, 종류 등을 예산에 맞추어 계획하는 것이 일반적이지만 당초의 설계조건이나 거동 예측이 현장계측과 상이하거나 현장조건의 변동시는 정보화시공의 절차를 거쳐 별도의 조사 및 시험이 요구될 것이다.

그간의 사고사례의 발생요인을 분석해본 결과, 가장 많이 언급되는 사항으로 현장조사의 미비 및 부적합성을 지적하고 있다.

조사나 시험의 위치가 설계상의 위험예측지점과 일치하지 않거나, 조사심도와 수량이 공사의 중요도나 지반의 변화에 못 미치는 경우도 종종 볼 수 있다.

근간에 지반교란을 최소화하며 정밀도 높은 대형복합조사장비들이 많이 개발되고 있으며, 시험의 수준도 지반의 현장상태를 최대한 대표할 수 있도록 고안한 장치들이 소개되므로써 많이 향상되었다고 사료된다.

앞으로는 과거에 문제가 되었거나 사고사례에 연관된 실패경우들을 사전에 고려할 수 있는 지반조사와 시험의 분야를 체계적으로 수집 및 정리하여 적용시켜야 할 것이다.

2.3 경제성과 공기

앞에서 서술한 바와 같이 1969년 9회 Rankine Lecture에서 Peck 교수는 “정보화 시공법은 사공진행 중 최대의 경제성을 허용하고 안전을 희생시키지 않더라도 시간과

공사비를 절약할 수 있는 훌륭한 방법이기 때문에 모든 지반공학 기술자들에게 널리 알려질 필요가 있다.”라고 제안하였다.

현장상태에 가장 적합하도록 안정성을 보장하며 실시되는 설계, 시공인 만큼 과대설계나 위험한 시공에서 벗어날 수 있으므로 가장 경제적이며 공기를 절약해주는 방법임에는 틀림없을 것이다.

그러나 현실적으로 상기의 상식적 평가를 현실화하기 위해서는 계약상의 정책적 배려가 요구되며, 기술적인 뒷받침이 준비되어야 할 것이다. 현재 시행중인 설계시공일괄(Turn-key) 계약의 경우 지반조건의 변화나 설계변경으로 절약되는 공사비는 반납하도록 되어있으며, 추가 공사비의 요인이 발생시는 지급이 거의 불가능한 상태이다.

설계와 시공에서의 불확실성을 수용하지 않는 이러한 제도하에서 합리적인 정보화시공의 발전이란 어느 한계 밖으로 벗어나기가 어려울 것이며, 국제적으로 일반화되어 있는 재난, 계획 또는 우발계획(Contingency Plan)에 의하여 예비비(긴급예산)를 확보하여 필요시나 문제발생 시 즉시 재조사, 설계변경 및 시공을 합리화 할 수 있는 제도의 정착이 활성화되어야 할 것이다.

정보화 시공의 장점으로는 설계시에 모든 위험가능한 경우의 시나리오(Scenario)를 설정하여 해석한 후 계측 계획을 수행하기 때문에 시공 중 문제시 될 수 있는 상태를 미리 예측할 수 있으며, 그 지점에서의 계측으로 검증 하므로써 위험을 사전에 예방할 수 있으므로 공기의 지연 요소를 제거할 수 있을 것이다.

그러나 부적합한 계측기를 잘못된 위치에 설치하여 안전을 위태롭게 한다거나 잘못된 계측자료로 혼란을 발생 시킬 경우 공기에 우려가 있기 때문에 계측계획은 경험과 풍부한 전문가에 의해 제시되도록 하여야 한다.

앞에서 언급한 바와 같이 설계시공일괄(Turn-key) 계약의 경우 지반 상태가 설계시 예측치보다 양호함에도 불구하고 설계변경과정에서 야기되는 문제점을 감안하여 보강공사를 수행하므로써 경제적 낭비와 공기의 손실이

야기되는 현장들은 하루 속히 시정되도록 행정조정이 이루어져야 할 것이다.

현장에서 즉시 사용할 수 있는 역해석 방법 및 기법이 고려된 각종 프로그램의 공급으로 앞으로는 설계변경이 바로 현장에서 이루어져서 공기의 지연없이 공사로 연결되어야겠다.

2.4 설계 및 역해석

정보화시공과 연관된 터널공사는 대체적으로 정밀도가 높아야 하거나 대형공사들로 문제발생시에 인적, 물적 피해 뿐만 아니라 사회적인 물의를 일으킬 소지가 있기 때문에 다양한 설계방법들이 요구될 수 있을 것이다.

물론 설계는 제공된 정보하에서 지반, 재료, 공사 및 영구적인 조건들을 고려하여 최적의 설계로부터 최고 위험상태의 경우까지를 모두 모사(Simulation)하므로써 각 시공단계에서의 안전성을 예측할 수 있도록 하는 과정이다.

만약 설계의 예측값들이 시공 중에 정확히 확인될 수 있거나 혹은 공사 중에 안정성이 확보되는 경제적인 설계를 할 수만 있다면 구태여 정보화 시공이란 과정은 필요치 않을 것이다.

그러나 현실적으로 조사, 시험, 설계시 및 공사 중에 설정된 가정사항, 단순화, 제한조건, 장비나 기술의 한계, 인적실수, 자연변화 등등의 불확실성으로 인하여 설계예측과 현장계측결과는 차이가 발생되며 다음 단계의 안전 예측은 역해석에 의하여 결정되고 필요에 따라 보수, 보강 및 설계변경의 방향으로 공사가 진행되게 된다.

그간 계측결과의 분석, 평가는 난무하였으나 역해석에 의한 다음 단계의 예측이나 그에 따른 계측의 확인 작업에 대한 국내시공 자료의 수집이 상당히 어렵기 때문에, 앞으로 이 분야에 대한 간편한 역해석 프로그램의 공급과 그 결과를 확인하므로써 지반공학의 발전에 획기적인 전기가 되기를 기대해 볼 수 있겠다.

2.5 계측기 설치 및 관리

설계시 예측되는 모든 위험 가능요소나 불확실한 지점에 다양한 종류 및 수량의 계측기를 설치해야 되며 예측되는 상태를 계측결과와 비교 분석한 후 적절한 시기에 조치를 취할 수 있도록 하는 확고한 목적하에 설치되고 관리되어야 할 것이다.

그러나, 대부분의 사고현장사례를 보면 파괴나 함몰지점에는 거의 계측기가 설치되지 않았거나 계측기 선택의 문제나 기능상실 등으로 사전에 위험을 예측하는데 실패 하곤 하였다.

공사의 종류별 계측의 목적은 표 1과 같다.

상호검토(Cross Check)를 위한 계측기의 복합설치나 시공중 손망설과 계측기의 기능상실을 대비한 추가 계측기의 설치는 장기계측에 필수적인 요건으로 시행되어야 한다.

상세한 계측관련 자료는 '97 정보화시공, 지반굴착위원회 공동학술 발표회 논문집 내 오정환, 남순성의 "지반굴착공에서의 계측계획 수립과 관리요령"과 "지반굴착공에서 계측기기 설치 및 측정시 문제점과 대책방안" 그리고 "현장계측"에서 참조할 수 있다.

2.6 시공과 계측 분석 및 평가

시공조건과 상태가 시방서의 요구조건에 부합되는지, 설계방법이나 설계입력자료의 확인이나 시공단계별 안정성을 평가하므로써 비로써 정보화 시공의 목적을 달성하였다고 할 수 있으나, 만약에 위험요소나 시방서 조건을 벗어난 계측결과가 발생시에 어떻게 경제성이 고려되

고, 사고 또한 방지할 수 있는 조치를 취하는 가는 정보화 시공의 마지막 단계라고 사료된다.

이는 물론 계측 결과를 신뢰할 수 있는 실제값으로 확신될 경우에 가장 중요한 것은 계측결과가 이미 위험단계에 접근하기 이전에 단계적으로 위험요소들을 예측하여, 다음 시공단계에서 안정성을 확보할 수 있도록 모든 자료들을 분석, 평가 할 수 있어야 한다.

근접시공인 경우 주변의 지하매설물들이나 인접건물의 안전관리기준에 부합되는 설계가 시행되고 시공중의 계측분석, 평가가 이루어져야 한다. 물론 비경제적인 설계가 계측에 의하여 확인되었을 때에는 설계변경에 의하여 경제적인 시공으로 방향을 제시하여 주는 것도 정보화 시공이 맡아야 할 중요한 임무인 것이다.

3. 터널과 관련된 사고사례

대부분의 터널공사는 계측관리를 통하여 안정성을 판정하고 있으며 특히 NATM을 이용한 터널공사는 계측 결과의 관리 및 평가의 의존도가 어느 공법보다 높다. 터널의 안정성 평가에 앞서 터널공사시 일반적인 파괴유형을 보면 그림 2와 같다.

1994년 10월 21일 London Heathrow 공항 연결 지하철 터널 공사중 붕괴사고가 발생되었다. London Clay 지반에서 속크리트(Shotcrete) 공사중 발생된 사고는 다른 지역에서 진행중인 NATM 터널현장에 까지 영향을 미치게 되었다.

영국정부내 보건안전당국에서 NATM 터널공법이 공사인력뿐만 아니라 공공안전과 관련하여 충분히 위험을

표 1. 공사의 종류에 따른 계측 목적(단위 % 항목수)

계측목적	공 종	시공관리	안전관리	설계법의 확인	사전조사	유지관리	기타	평균계측 목적수
터널		31.4	59.0	67.6	0	10.5	42.9	2.1

관리할 수 있을 정도의 안정성이 확보될때까지 모든 NATM 현장공사를 중지시킨후 전반적인 검토를 지시하였다.

다음 내용은 NATM 터널공사의 안전에 관한 조사검토 내용중 사고사례와 유형에 관련된 부분을 발췌하여 보고하고자 한다.

Number	Type of failure	Illustration of failure
(i)	Heading in ground too weak for method May be due to discrete zones of weakness (discontinuities) including "greasy backs" Bench failures may be transverse or longitudinal	
(ii)	Weakness in crown Due to vertical fissures, pipes and man made features (wells, etc.)	
(iii)	Insufficient cover to overlying permeable water bearing strata	
(iv)	Insufficient cover to surface	
Number	Type of failure	Illustration of failure (after ring closure)
(i)	Shear failure	
(ii)	Compression failure	
(iii)	Combined bending and thrust	
(iv)	Punching failure	
(i)	Bearing failure of arch footings (Typically enlarged footings "Elephant's feet")	
(ii)	Failure due to horizontal movement of arch footing	
(iii)	Failure of side gallery wall	

그림 2. 터널의 파괴유형

3.1 사고의 원인

상기 터널사고의 사례에 대한 원인을 분석 정리해본 결과 다음의 5가지 항목으로 합축시켜보았다.

1) 예상하지 못한 지질학적 원인(Unpredicted geological causes)

- 수압을 가진 모래 · 자갈층의 급작스런 출현
- 시공중 연속적으로 지층상태를 파악할 수 있는 수평시추 미실시
- 전문가에 의한 막장관찰기록 분석 및 조치미비
- Unpredicted 지반조건은 Unpredictable 지반조건과는 아주 다름

2) 계획과 시방조건 미비

- 터널위치가 높아 안전한 토피고 유지 불가
- 굴착과 지지조건이 지질학적 조건을 고려하지 못했을 때
- 지반조건 분류기준의 잘못으로 지지구조의 부적합한 선택
- 부적합한 시공자재와 허용오차 선정
- 문제발생시 긴급조치계획의 부적합

3) 계산과 수치해석의 실수

- 설계입력자료의 실수
- 지하수 영향을 충분히 고려하지 못한 경우
- 부적합한 재료모델과 컴퓨터 프로그램 사용
- 계측 자료에 대한 정확한 분석과 빠른 해석 미비

4) 시공의 실수

시공에 관한 미비점이 너무나 많기 때문에 전부 집계하는 못하지만 그 일부만 정의해 보면 다음과 같다.

- 1차와 2차 Lining 두께가 시방서와 다름
- 잘못 시공된 Rock Anchor 와 Steel Ribs

- 잘못 시공된 Lining 보수
- 설계시방과 다른 굴착단계와 시공 시점

5) 경영과 관리의 실수

- 경험이 충분하지 않은 설계자와 현장관리인 선정
- 지난 공사의 사고사례들의 장·단점을 충분히 인식하지 못한 현장 관리인 선정
- 실력있고 경험이 풍부하지 않은 시공업체 선정
- 불충분한 감리제도 도입
- 현장 계측결과에 따른 시공의 적용이 즉시 이루어지지 못함

3.2 사고방지를 위한 제안사항

1) 설계 개선사항

- 모든 가능한 상황하에서 안전율이 고려된 설계
- 인접 매설물이나 건물들의 영향이 고려된 설계
- 지반조건의 충분한 변화에 대한 이해와 설계에 반영
- 터널 구조의 불충분한 파괴 발생과정(Mechanism) 예측
- 시공단계나 구조 Joint 의 안정성 고려 미비

2) 시공의 개선사항

- Steel Rib 등 기초를 넓고 안전하게
- Forepoling 등 천단 보강재의 최대활용
- 막장 전면의 수압저하를 위한 배수구 설치
- 두꺼운 Lining 과 화학적 지반 보강, Steel Rib 활용
- Curved 인버트
- 계측 자료의 최대한 활용

3) 관리측면의 개선사항

- 지질학적 피해를 줄이기 위한 전문가의 막장관찰 분석
- 계측자료의 즉각적인 분석과 활용을 위한 시스템

제공

- 철저한 계획과 시공감리제 도입
- 정신적, 기술적 교육 철저
- 위험구간의 계측기 보완 및 수평보링의 활용

3.3 위기관리와 NATM

그림 3은 위기(Risk)의 수준과 시간이 NATM 공법의 안정성을 증대시키는 방안을 제시하고 있다.

그림에서 (1)은 허용할 수 없는 위험한계를 점선으로 표시하였고 (2)는 일반적으로 안정된 상태에서 터널을 공사하는 과정에서 (3)은 위험이 예측되지 못한 상태에서 급격히 진행되어, 준비된 대체 방안을 활용하지 못할 때, (4)는 초기의 위험요소발견과 적절한 대체방안 활용으로 안전하게 원래의 안정상태 (2)로 돌아오며(발견과 회복 Mechanism) (5)는 문제발견이 늦어져 대체방안을 겨우 적용시킬 수 있었던 경우로, 잘못되면 (1)의 위험단계를 넘을 수 있다. 그러므로 적절한 시점에서 문제의 발견과 적합한 대체방안(contingency) 계획이 NATM공법에서는 상당히 중요하다.

바람직한 NATM터널공사의 설계와 시공과정은 그림 4에, 시공중 시행되는 정보화시공의 상세한 절차는 그림 5에 소개하였다.

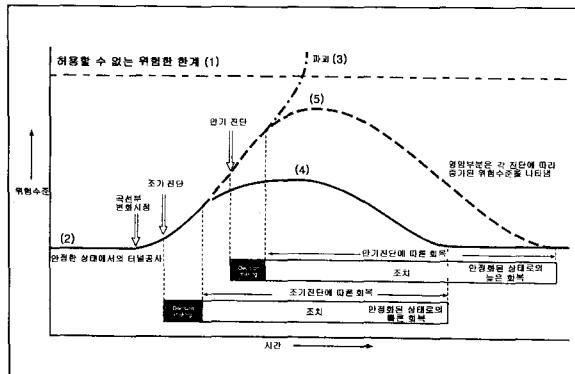


그림 3. 위기수준과 NATM공법의 안정성증대 방안

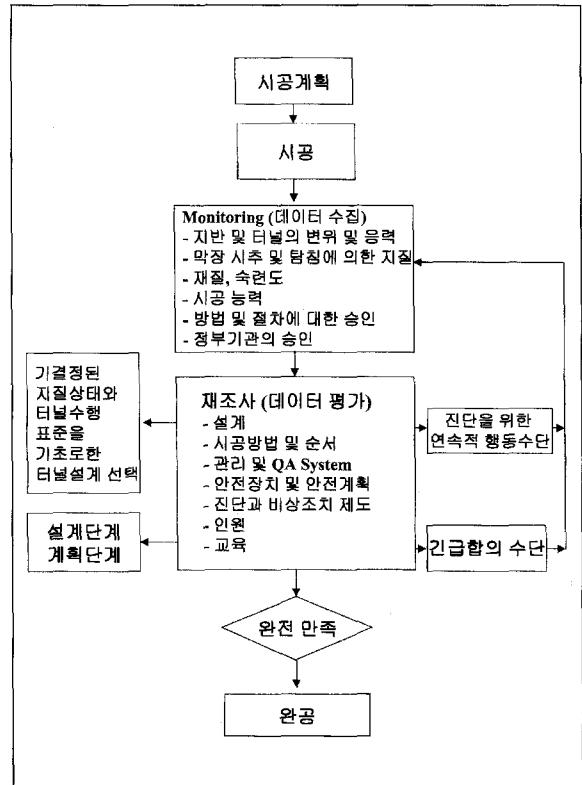


그림 4. 바람직한 NATM터널공사의 설계와 시공과정

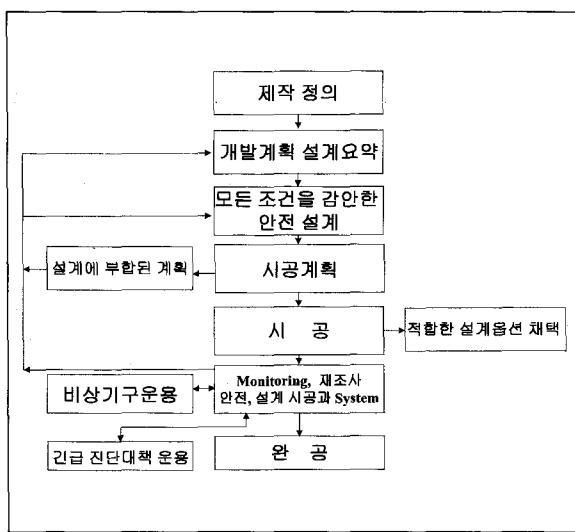


그림 5. 정보화시공의 시공절차

4. 정보를 이용한 설계 및 시공

과업의 계획 설계단계에서 인근유사한 공사완료현장에 대한 자료수집과 분석은 과업의 방향 설정에 상당히 중요한 역할을 하게 된다.

몇 년 전 홍콩의 Geotechnical Control Office(GCO)를 방문하였다. 지반정보부서 내의 정보보관장소에서 홍콩의 전역에 걸쳐 시추공의 기록과 지반조사보고서, 크고 작은 건물의 지반조사, 토질실험 결과, 설계도서가 지역별로 잘 정리되어 있었다. 더욱 놀란 것은 굴착공사중 일어났던 문제점들과 해결을 위한 별도의 조사결과, 역해석 및 시공변경 등이 계측결과와 아울러 잘 분석되어 있어, 부근 지반의 유사공사시 기존조사 결과를 통해 사전에 예측하여 공사를 실시하는 것을 알 수 있었다.

이들의 자료정리 분석 결과는 당연히 다음 사용자의 정보로 입력되어 엄청난 비경제적요소를 제거하고 안정성을 확보할 수 있는 정보화 시공의 중요한 시작지점을 알 수 있었다.

지반공학의 모든 정보를 제공할 수 있는 다른 자료들로는, 방콕의 Asian Information Center for Geotechnical Engineering(AGE), 정부관공서, 전기·가스·통신공사, 각 대학 도서관, 학회자료실, 국제 자료기구들(NGI, SGI) 등등 정보화의 활용이 일반화되어 있음을 느꼈다.

이렇듯 국내에서도 지난 경험의 실패 및 성공에 관계없이 모두가 정보화 자료로 사용하므로써 유사한 실패사례, 사고사례를 최소화하는 제도적 장치를 마련하여야 할 것이다. 또한 자료를 수집하고 연구분석하는 방향의 정보화 시공도 우선적으로 수행되어야겠으며, 이에 대한 외국의 사례를 조사해 보았다.

분야별 변화와 개선방향은 별도로 설명하기로 한다.

4.1 정보화 시공의 변화와 개선방향

이미 언급한 바와 같이 정보화시공의 목적이 그림 6에

서와 같이 현장계측자료를 토대로 설계사의 불확실한 요소들과 시공중 발생되는 모든 위험요소들을 비교분석하고 경제성을 고려한 최적의 설계, 시공이 되도록 방향을 제시하며 다음 단계의 안전성을 보다 정확히 예측할 수 있기 때문에 바람직한 정보화시공을 수행하기 위하여서는 설계시의 불확실한 요소와 시공중에 예측되는 모든 위험요소에 대한 이해와 응용이 필수적이라 하겠다.

정보화시공의 개선은 그림 6에서와 같이 설계와 시공 및 계측을 유기적으로 연계시켜 시공 중 적절한 시점에서 빠르게 정확도 높은 안정성 분석을 시행한 후 보다 합리적이고 경제적인 시공에 도움을 줄 수 있도록 활용되는 방향으로 발전되고 있는 것 같다.

설계의 불확실한 요소나 시공 중에 위험요소들은 과거의 경험이나 사고 사례들로부터 확인되고 검증되기 때문에 공사의 계획에서부터 설계 시공 단계까지 유사한 구조물의 특성이나 지반의 거동 피해에 관한 많은 자료를 분석하여 이를 근거로한 설계와 시공중 계측방향의 설정이 활성되어야 겠다.

그간 많은 계측경험과 자료수집 및 분석과정을 거쳐서 시공의 안정성평가에 도움이 되기는 하였으나, 현장조건에 부합되는 재해석 내지 역해석을 수행하여 공사안전예

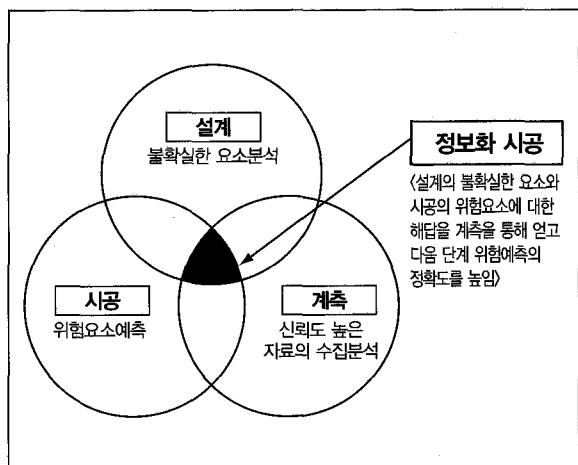


그림 6. 정보화시공의 연관성

측으로 연결되는 기술분야에서는 만족할 만한 경험을 하지 못하였다.

현장계측자료, 역해석 프로그램 그리고 안전관리 기준을 연결하여 시공중 보다 현실적인 안정성 평가를 예측할 수 있는 통합안전관리 시스템개발과 현장에서 직접 활용 할 수 있는 프로그램이 상용화진행중이다.

터널의 경우 현장계측과 막장의 암반평가(Face mapping) 자료를 근거로 다음 시공단계의 안정성을 예측하면서 성공적으로 공사완료한 한강의 하저터널 시공사례등을 참조하여 보다 안전하고 경제적인 정보화시공 기법이 개발 되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김학문(1994) "도심지 지하굴착의 문제점과 개선방향" 한국 지반공학회 추계학술발표회 논문집, pp. 139-148.
2. 김학문(1997) "정보화 시공을 적용한 도심지 지반굴착" '97 정보화시공, 지반굴착위원회 학술발표회, pp. 5-56.
3. 서울지하철건설본부(1996) "한강하저터널 건설현황", "한강 하저터널 구조물설계 및 시공"
4. 이봉열, 김광진, 김학문(1994) "Hoek-Brown 암반모델을 이용한 비선형 유한요소 터널해석 및 평가", 한국지반공학회, 창립10주년기념 및 '94가을학술발표회 논문집 pp. 235-244.
5. Health and Safety Executive(1994) "Safety of New Austrian Tunnelling Method".
6. Lambe, T. W & Whitman, R.V(1969) "Soil Mechanics" John Wiley & Sons, pp. 16-17.
7. Terzaghi, K. & Peck, R.(1967) "Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley & Sons, 2nd Ed. pp. 627-681.
8. The Institution of Civil Engineers(1996) "The observational method in geotechnical engineering".