

지하철 터널의 설계와 시공

이 인 근 / 서울시 지하철 건설본부 공정관리부장

지하철 터널의 설계와 시공

1. 개 요

현재 건설중인 제2기 서울 지하철 터널구간은 대부분 NATM (New Austrian Tunnelling Method) 공법으로 설계되어 시공되고 있다. 이 공법은 1960년대초 오스트리아의 Rabcewicz에 의하여 소개되었으며, 공법의 기본원리는 지반 자체의 강도를 터널의 지보재로서 최대한 활용토록 하는 것이다. 즉, 슛크리트 및 록볼트 등 지반과의 부착성이 좋은 지보재를 지반조건에 따라 조정해 가면서 적기에 설치하여 지반 이완을 억제시켜 지반 자체로 하여금 지지력을 발휘하게 함으로써 경제적인 지보 부재로 안전한 터널 시공을 가능케 하는 공법이다.

본 NATM 공법은 서울시 지하철 3호선 건설 당시 본격적으로 국내에 도입되었고, 오스트리아의 Geoconsult와 일본의 JARTS의 기술 지원을 받아 3·4호선 도심구간 일부에 적용된 바 있다. 그 후 이 공법은 국내의 각종 터널공사에 성공적으로 적용되고 있으며, 우리나라의 터널 기술 향상에도 크게 이바지한 바 있다. 그러나 제2기 서울 지하철 건설사업이 본격적으로 시작되면서 공사가 대량으로 발주되었고 지반조건도 불량한 난공사 구간이 많이 발생하는 한편 공사 발주량에 비해 상대적으로 기술인력이 부족하게 되자 안전시공이 위협받게 되었다. 몇 차례의 사고가 있었음에도 불구하고 참여 기술자들의 노력과 국내의 전문가들의 도움으로 많은 어려움을 극복하여 96년말까지 제2기 지하철 1단계 106.4km를 개통하였으며 현재 2단계 68.4km를 건설중에 있다. 제2기 지하철 174.8km중 터널 구간은 86km로 전체의 49%에 이른다.

본 고에서는 NATM 터널 설계 및 시공 전반에 대한 국내 현실을 제2기 서울 지하철 터널 건설사업을 통하여 조명해 보고자 한다.

2. NATM의 개념

2.1 NATM의 기본개념

NATM 공법에서는 슛크리트, 강지보재 및 록볼트로 구성된 가축성 1차 지보재가 지반에 밀착 시공되어 지반이 주 지보재가 되도록 합리적으로 보조해 주는 역할을 담당한다. 따라서 굴착에 의해 교란된 지반은 이러한 1차 지보재의 도움을 받아 변위를 동반하면서 안정상태에 도달

하게 된다. 지반 자체의 지보능력을 효율적으로 활용하기 위해서는 지반이 강도를 상실하지 않는 범위 내에서 변위를 허용하여야 하고 1차 지보재의 지보력은 지반 응력에 대하여 충분한 안전율을 갖는 상태에서 지반 응력과 평형을 이루도록 설계되고 시공된다.

여기서 주지하여야 할 사항은 굴착면 주위 지반의 응력은 시간에 따라 계속 변화된다는 점과 설계 단계에서 파악된 지반정보는 극히 제한적이고 실제 지반 조건과 상이할 경우가 빈번하다는 점이다. 이것은 NATM 공법이 시간성과 지반 변화에 대한 대응성을 그 골격으로 하고 있음을 의미한다.

내부 라이닝은 토압이나 수압을 지지해 주고 터널의 내공단면을 확보해 주는 역학적 기능 혹은 교통 운행중에 요구되는 부수적 기능을 제공해 주는 역할을 담당한다. 1차 지보재만으로 완전하게 안정된 터널에 설치되는 내부 라이닝은 후자의 기능만을 담당하여 ① 구조물의 수명 기간 동안 구조물로서의 기능 유지, ② 미관 유지, ③ 터널 내의 시설물 보호, ④ 방수기능들을 유지시켜 쾌적한 시설 유지를 가능하도록 한다. 그러나 1차 지보재에 의해 안정된 터널이라 할지라도 시간이 흐르면서 원지반 특성이 저하되거나 또는 지보재 재료의 약화 등에 의해 지보재의 지보능력이 저하된다면 지반은 다시 평형상태를 잃게 된다. 이때에는 내부 라이닝이 구조적인 기능을 담당하게 되므로 토압을 안전하게 지탱할 수 있는 단면으로 설계되지 않으면 안된다. 방수터널인 경우에는 토압과 원지하수위에 해당하는 정수압에 저항할 수 있는 구조적 기능을 발휘하여야 하며, 배수형 터널이라 할지라도 배수시설의 능력이 유입수를 원활하게 처리하지 못하게 되면 수압이 작용하게 되므로 이에 대해서도 저항하는 역할을 담당한다.

2.2 국내의 NATM 터널 설계 개념

현재 국내에서 수행되는 NATM 터널의 설계는 대부분 1차 지보를 영구 구조물로 인정하고 있다. 따라서 터널은 어떠한 형태로든지 1차 지보재에 의해서 안정되고 내부 라이닝은 터널의 구조적 기능보다는 부수적 기능유지를 목적으로 하기 때문에 배수형 터널에서는 자중만 견딜 수 있는 구조로 설계된다. 특히 대상 지반의 특성과도 무관하여서 양호한 지반에서나 연약한 충적토사 지반에서도 동일한 개념이 적용되고 있는 실정이다. 하지만 NATM이 원래 산악터널을 대상으로 개발된 공법이고 성공적인 시공 실적이 축적되면서 피복이 얇은 연약 지반을 대상으로 하는 공법으로까지 발전된 공법임을 상기하여야 한다.

국내에서 NATM 적용 경륜은 짧은 편이고, NATM에서 적용되는 1차 지보재(스프리트, 강지보재, 록볼트)의 내구성도 확인되지 않은 상태이다. 더군다나 국내의 열악한 시공수준에 비추어 볼 때 토피가 얇은 토사지반 터널에서도 현 1차 지보재가 영구한 안정성을 확보해 줄 수 있을지는 의문이다. 도심지에는 끊임없이 공사가 진행중이고 지반에 전달되는 하중의 변화도 예측키 어려울 뿐 아니라 지하수 오염원들도 산재해 있기 때문에 지하수위 변동에 따른 지반 특성의 저하 혹은 1차 지보재 등의 부식 가능성이 높다. 이렇게 해서 1차 지보재의 지보 능

력과 지반 응력과의 1차 평형상태가 균열을 잃게 되면 지반은 다시 변형을 동반하며 새로운 안정 상태에 도달하려 한다. 그 결과 토압이 내부 라이닝에 작용하게 된다. 따라서 연약지반에 구축되는 얇은 도심 터널에서는 이와 같은 현상을 충분히 반영하여 설계 개념을 재정립하여야 할 필요가 있다.

터널을 굴착하여 지하 자연 지반을 교란시킬 때에는 가능한한 교란의 정도를 최소화 하려는 노력을 기울여야 한다. 이것은 설계에 NATM의 기본원리가 능동적이고 포괄적으로 수용되었을 때 가능한 것이다. 현행 설계는 이러한 측면에 너무 경직되어 있다. 다시 말하면 설계 자체에 합리성과 지반 변화에 대한 대응성이 충분히 고려되어 있지 않아 운영의 경직성과 함께 터널 시공을 더욱 어렵게 하고 있다.

3. 조 사

서울시 전역에서는 실사이 없이 건설공사가 진행되고 있다. 이러한 공사는 반드시 지반조사를 동반하게 되므로 거시적으로 보아서 서울시 전역에 걸친 지반상태는 이미 드러났다고 보아도 틀린 말은 아닐 것이다. 다만 이러한 조사결과들이 단회성 자료로 사장되어 버렸기 때문에 지반은 항상 우리 기술자들에게 생소해 진다. 서울 지하철 건설사업만 하더라도 엄청난 시추자료와 현장 및 실내 시험이 수행되었다. 그러나 상호간 호용가치는 별로 인정되고 있지 않는 실정이다. 그 이유를 두가지만 언급하면 ① 조사결과에 대한 신뢰성이 결여되어 있고, ② 조사결과를 취합하고 관리하는 제도적 뒷받침이 부족하기 때문일 것이다.

따라서 조사의 신뢰도를 높일 수 있도록 함은 물론 조사결과들을 종합적으로 관리하는 제도적인 뒷받침이 마련되어 신뢰성 있는 조사자료들이 사장되지 않고 계속적으로 활용될 수 있도록 하여야 한다. 또한 빈약한 조사로 부터 합리적이고 충실한 설계를 기대할 수 없어 결국 부실 시공을 유도하게 되기 때문에 초기단계에서 좀 더 종합적인 조사가 되도록 특별한 노력을 기울여야 한다. 제2기 서울 지하철 건설사업의 시공단계에서 엄청난 량의 지반조사가 추가로 실시되었다는 점을 간과해서는 안될 것이다. 이러한 조사가 초기단계에 실시되었다면 좀 더 충실한 설계를 마련할 수 있었을 것이다.

3.1 설계시의 조사

터널 설계를 위한 지반조사는 단순히 지층의 경계와 각 층의 구성암 및 일반적인 성질을 알아 내는데 그쳐서는 안된다. 암반의 거동은 절리의 발달상태에 따라 크게 달라지므로 이러한 불연속면의 발달상태(간격, 충전물질, 방향 등을 파악하는 것이 대단히 중요하다. 따라서 기능인력에 의존하는 과거와 같은 지반조사는 더 이상 되풀이 되어서는 안된다. 새로운 장비의 과감한 도입과 전문인력의 투입으로 기술적으로 발전된 지반조사 결과를 얻도록 노력하는 의

식의 전환이 필요하다. 현행 시추조사와 관련하여 검토된 내용을 살펴보면 다음과 같다.

3.1.1 시추공 간격

시추공의 간격은 100m ~ 200m로서 대부분 지하철 선형을 따라 거의 일정한 간격으로 배치되어 있다. 그러나 시추공과 시추공 사이에는 도심지의 지형적 특성 및 지질구조 등의 복합성으로 인하여 심한 변화가 있는 것이 보통이다. 더욱이 지하철 시추조사는 혼잡한 도심지에서 시행되므로 터널 위치로부터 약 20 ~ 40m 떨어진 보도에서 실시되는 경우가 많아 실제 시추공 간격은 더욱 멀어지는 것이 일반적이다. 따라서 시추공의 간격은 일률적으로 일정거리를 정하여 결정하는 것보다는 기존의 지형 및 지질 특성들을 고려하여 총적층의 심도가 깊거나 연약지반 또는 단층 파쇄대의 발달이 예상되는 구간에서는 그 간격을 좁히는 등 탄력적으로 적용하여야 하며 필요시 지표 지질조사 및 물리 탐사 등을 실시하여 지반상태를 보다 면밀히 파악하여야 한다.

3.1.2 시추공 구경

시추공 구경은 일반적으로 NX 구경(직경 약 76mm)이 사용되고 있다. 시추공의 구경은 시료 채취의 품질을 좌우하는 매우 중요한 요소로서 동일한 암반이라도 구경에 따라 TCR 및 RQD 등이 달라진다(구경이 커질수록 수치가 높아짐). 특히 풍화대 또는 연암 등의 심도가 깊은 도심지 터널조사의 경우 시추공 구경이 작으면 시료 채취가 아예 되지 않거나 TCR, RQD 등이 극히 저조한 경우가 많아 선택적으로 HX(직경 약 100mm) 구경의 시추를 시행하는 것이 바람직하다.

3.1.3 시추공 심도

시추공 심도는 5호선의 경우 터널 인버트 심도보다 2m 깊게, 6호선의 경우 터널 직경만큼 깊게 시추하도록 되어 있다. 터널 주변의 지반거동을 고려할 때, 터널 굴착으로 인한 영향권 이내의 지반상태 확인이 필요하므로 최소 시추심도는 개념적으로 터널 인버트 심도 + 영향권 거리가 되어야 할 것이다. 따라서 일반적으로 터널 굴착으로 인한 영향권이 터널의 직경 정도인 것을 감안하면 최소 시추심도를 터널 인버트 심도 + 터널 직경으로 취하는 것이 바람직하다.

3.2 현장시험

터널 시공을 위한 현장 시험은 표준 관입시험, 특수시험, 공내 재하시험 등 여러 가지가 있다. 그러나 이러한 시험들은 현장시험 및 공법의 특성을 충분히 반영하지 못한채 시행되고 있는 실정이다. 이러한 예로는 주입공법이 적용될 것으로 예상되는 구간에서 고결 방울시험 등이 실시되지 않거나 지하수위가 지속적으로 변화할 수 있는 구간 등에서 지속적인 지하수위 측정을 하지 않는 등의 경우가 그것이다. 현장시험시 이러한 시험사항들이 미리 시행된다면 터널

의 설계 및 시공과정에서 겪게 되는 여러 가지 시행착오(주입공법의 선정, 차수공법의 선정 등)를 줄여줄 것이며 아울러 전체 공사비 및 공사기간 측면에서도 유리하게 될 것이다. 이러한 현장시험들은 관련 KS 규정이 없는 것도 있을 수 있으나 자격있는 기술자에 의하여 검토된 후 현장의 특성을 충분히 고려한다면 기술적인 문제는 없을 것이다.

3.3 시공시의 조사

터널 시공시 막장 관찰(Face Mapping)을 통하여 노출된 암반에 대하여 조사하고 선진수평 시추를 통하여 막장 전반의 지반상태를 확인하는 조사를 시공중 조사로 분류한다. 이와 같은 시공시 조사의 본래 목적은 시공중 지반상태를 확인하고 필요한 경우 굴착 및 지보 패턴을 변경하거나 보조공법을 적용하여 터널 시공의 안정성 및 경제성 향상을 도모하고자 함이다. 그러나 대부분의 현장에는 막장 지반조사를 실시할 만한 훈련된 전문가가 부족한 상태이기 때문에 막장 지반조사가 충분히 시행되고 있다고 할 수 없을 뿐만 아니라 선진 수평 시추의 경우 상세한 시방이 부족한 형편이다.

바람직한 방안은 지질에 대한 전문지식을 겸비한 터널 기술자가 터널 막장을 1일 1회 이상 방문하여 지반상태를 파악하여 설계단계에서 예측된 지반상태와 비교 분석하여 합리적인 대책이 수립될 수 있도록 하여야 한다. 지질도는 적어도 5m 간격으로 작성하고 광범위한 구간에 걸쳐 지반이 노출된 개착구간에 대해서도 굴착면 지반조사(Face Mapping)를 적극 실시하여 전 노선의 연속된 지질상태를 파악하여 터널 시공 및 향후 시설물 유지관리 등에 참고할 수 있도록 하여야 할 것이다.

3.4 조사결과의 기록 유지

설계 및 시공시에 시행되는 조사결과는 그 의미의 왜곡/와전을 방지하기 위하여 용어 및 양식 등의 통일을 기하는 것이 바람직하다. 현재의 조사사항들은 사용 용어에 대한 명확한 정의의 불충분, 통일된 양식의 불충분 및 적절한 지반 분류방법의 미확립 등으로 조사결과의 의미가 왜곡/와전될 가능성이 있는 것으로 판단된다.

특히 암반 분류방법은 현재 RMR 및 Q-시스템 등이 사용되고 있으나 이러한 방법들은 본래 토피가 비교적 두꺼운 산악 터널과 같이 Rock Mass 개념의 지하 공동의 설계/시공을 위하여 개발된 분류방법으로서 도심지 지하철 터널과 같이 토피가 비교적 얇고 지반조건이 불량한 경우에는 그 적용에 신중을 기하여야 한다는 사실 등이 무시되고 있는 실정이다.

4. 설 계

지하철 터널의 설계는 최종 구조물이 안전하고 원활하게 지하철 차량을 소통할 수 있도록 계획되고, 터널 정거장과 같이 직접 사용자와 접하는 장소에서는 구조물의 안정성은 물론 사용자의 동선을 고려하여 최대한으로 쾌적한 공간을 제공하도록 하여야 한다. 이를 위하여는 설계 단계에서 제반요소를 충분히 감안하고 새로운 개념과 신기술을 과감히 채택하여야 한다. 이러한 개념에 입각하여 완료되었거나 현재 시공중인 지하철 터널에서 파악된 문제점들을 분석, 평가하면 다음과 같다.

4.1 설계 일반사항

4.1.1 터널의 방/배수

터널의 방/배수 형식의 결정은 터널 단면의 크기, 형상, 내부 라이닝의 두께 등과 직접적인 관계가 있고 공사비에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 지하수위의 변동을 유발시켜 지하 환경을 변화시키고 주변 구조물에 피해를 입히는 등 사회문제를 야기시키기도 한다. 예를 들면 방수형 터널을 선정할 경우 터널 라이닝에 수압이 작용하므로 내부 라이닝의 두께가 두꺼워져 굴착 단면이 커지게 되며 그 형상 또한 수압에 대한 저항력이 좋은 원형 또는 난형이 선택되게 된다. 이 경우의 단면은 사공간(Dead Space)을 많이 포함하게 되어 공사비가 많이 소요되게 된다.

방수형 터널 또는 배수형 터널의 형식 결정은 지반조건, 주변환경, 경제성, 시공성 등에 대한 다각적인 검토와 분석을 통하여 결정되어야 한다. 그 원칙을 제시하면 다음과 같다.

- 1) 배수형 터널 : 지하수위 저하에 따른 영향이 없으며 지하수 유입이 적어 유지관리비가 적은 경우 혹은 수압이 큰 경우(양호한 암반의 피복이 두꺼운 경우는 지하수위 저하에 따른 문제도 없고 작용 수압은 크지만 유입 지하수는 적다)
- 2) 방수형 터널 : 지하수위 변동에 민감하게 영향을 받는 지역이나 유입 지하수량이 과다하여 장기적인 관점에서 안정이 문제시되고 유지관리비가 크게 소요되는 경우 혹은 수압이 그다지 크지 않은 경우(연약지반의 천층 터널이나 기간시설이나 공공건물들이 밀집된 도심지역에 지 표에 인접하여 터널을 구축하는 경우에 해당한다.)

제2기 서울 지하철 터널은 원칙적으로 배수형 터널로 설계되었다. 한강 또는 하천 직하부에만 선택적으로 방수형 터널을 적용하였다. 방수형 터널은 도심 터널 형식으로 적합한 형식은 사실이다. 해외 추세에서도 이같은 사실이 뒷받침되고 국내에서도 개착터널에는 모두 방수형인 것을 염두에 둘 필요가 있다. 그러나 도심지라 할지라도 고개 등 암피복이 큰 경우에

는 굳이 방수형 터널을 적용할 필요는 없다. 왜냐하면 수압이 크게 작용하고 상대적으로 유입수가 적기 때문이다.

따라서 방수형 터널로 기준을 정하되 지반조건을 고려하여 선별적으로 배수형도 채택하도록 하는 것이 바람직하며 방수형을 선택할 경우에는 복선보다는 단선 병렬 터널을 선정하는 것이 바람직하다.

4.1.2 터널의 내공 치수

터널의 내공 치수는 시공시 발생할 수 있는 오차 및 변형 그리고 열차운행시 열차의 움직임으로 인한 여유 등을 충분히 감안한 상태에서 가능한 최소 수치로 설계/시공되어야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 현재 설계/시공되고 있는 지하철 터널은 대부분 시공시 발생할 수 있는 지반 변형 및 시공 오차 등이 반영되어 있지 않아 지보재 설치후 단면 재형성 작업이 필요하거나 한 공구내에서 너무 많은 종류의 내공 치수로 설계함으로써 시공성을 크게 저하시키는 원인을 제공하고 있다.

이것들을 개선하기 위해서는

- 터널 내공 단면 산정시 시공중 발생할 수 있는 오차, 즉 1차 지보 시공시 발생하는 오차, 지반 변형에 의한 내공 축소 및 내부 라이닝 시공시 발생하는 오차들을 반영하여야 한다. 대표적인 허용오차 값으로 15cm를 제안한다.
- 한 개의 공구 내에서는 적용 단면수를 최소화 해야 한다. 예를 들면 최소변경에 맞는 최대 단면을 대표 단면으로 설정하면 전 구간은 하나의 단면으로 통일될 수 있을 것이다.

4.1.3 터널 정거장 형식

터널 정거장은 노면 교통에 지장을 초래하지 않고 공사를 수행할 수 있는 장점이 있으나 주로 대단면 터널이나 2-아치 또는 3-아치 터널로 형성된다. 따라서 일반적인 단선 터널 및 복선 터널에 비하여 구조적으로 불리한 상태가 되므로 신중한 고려가 필요하다. 제2기 서울 지하철 건설시에는 이러한 터널 정거장의 구조적인 안전성과 시공성 등이 충분히 고려되지 않은 경우도 있어 시공중에 설계를 변경한 경우도 수차례 있었다.

4.2 표준 지보 패턴

4.2.1 지보 패턴 설계 개념

서울시 지하철 건설을 위한 표준 지보 패턴은 지반을 풍화토, 풍화암, 연암, 경암의 4가지로 구분하고 이에 따라 4가지의 표준 지보 패턴을 설정하고 있다. 단선 및 복선 터널에 대한 지보 패턴의 차이는 풍화암에 적용되는 표준 패턴의 슛크리트 두께와 굴착 주변장의 차이에서 오는

록볼트의 수가 다른 것을 제외하고는 근본적으로 동일하다. 또한 지반은 연약할수록 강한 시간 의존 특성을 보이게 되기 때문에 굴착이 진행되면서 지반별로 터널 종방향으로 어떻게 지보를 실시해야 하는가 하는 문제는 대단히 중요한 기술적인 사항이지만 표준 지보 패턴에는 이러한 사항에 대한 고려가 미흡한 실정이다.

표준 지보 패턴은 적용대상 지반이 균질하게 분포된 상태를 가정하고 있다. 그러나 지표 부근의 지반은 특성이 각각 다른 여러 지층이 교호하고 있고 그의 양상도 다양하여 패턴 적용이 불합리한 경우가 종종 있게 된다. 현행 설계과정도 먼저 지반을 판정한 후 지보 패턴을 선택하고 해석을 실시하여 적부를 검토한 후 최종 지보 패턴을 결정한다. 해석단계에서 입력치를 지층별로 구분하여 적용함으로써 지층의 구조상태가 고려되었다고 볼 수 있겠으나 지보재 지지부의 지반상태와 굴착 후의 지보순서 및 지하수의 영향 등이 해석에 정확하게 반영될 수 없다. 예를 들면 상반 슛크리트 기초부가 풍화가 심한 풍화암에 놓이고 지하수 유입이 있는 경우와 연암 위에 놓이는 경우와는 지보재의 거동이 상이하게 된다. 또한 PD-3(풍화암)에서 천단부 상부 1.0m 이내에 층적층이 나타나게 될 경우 PD-3의 적용을 이상적인 지보 설계라고 할 수 없다. 특히 표준 지보 패턴에는 굴착방법까지를 포함시켜야 하기 때문에 지층의 층상 구조를 고려하여 현행 표준 지보 패턴을 보다 세분화 하여 세분된 표준 패턴을 마련해 두는 것이 바람직할 것이다.

4.2.2 수치해석

터널의 설계 및 시공시에는 터널 시공에 의한 지반 및 지보재의 응력 - 변형률 - 시간 거동 특성을 종합적으로 분석하는 것이 필요하며, 이를 위하여 가장 효과적인 방법중의 하나가 수치해석이다. 수치해석은 지반 및 지보재의 거동 특성을 종합적으로 분석하는 만큼 각 재료들에 대한 정확한 특성 자료들을 필요로 한다. 또한 사용되는 전산 프로그램별로 대상 지반을 모델화 하는 방법이 다르기 때문에 동일한 입력치를 사용하여도 그 결과치들은 사용 프로그램별로 서로 다르게 되는 경우가 있다.

서울 지하철 설계에 참여한 용역사들의 해석방법들은 하중분담율을 적용하여 굴착에 의해 발생하는 하중을 적절히 분할하여 굴착단계별로 재하한다. 용역사별로 적용하고 있는 하중분담율은 50-25-25와 40-30-30의 두 가지로 대별된다. 이는 동일한 지반조건임에도 불구하고 설계자에 의해서 각기 다른 구조물이 설계될 수 있음을 의미한다. 합리적인 하중분담율은 실제 계측결과를 적용한 역해석으로 부터 부단히 보완해 나아가야 하나 신뢰할 만한 계측결과가 없어서 안타까운 실정이다.

입력지반 특성치의 결정에 있어서도 그 적용기준이 명백하지 않고 용역사 별로 차이가 많은 실정이다. 일반적으로 동일한 지반인 경우에도 탄성계수의 상한치와 하한치의 비율이 4~7인 일례를 보더라도 입력 특성치 결정의 임의성을 알 수 있다. 특이할 만한 사항으로는 이러한 입력 특성치들이 현장 및 실내시험 결과치 보다는 기존 설계자료에 의존하여 경험적으로 선정

되고 있다는 것이다.

또한 해석에서 시공순서가 충분히 고려되지 않은 경우가 많고 터널 굴착 영향권 내에 위치하고 있는 주요 구조물이나 지하 시설물에 대한 영향평가가 대부분 실시되지 않고 있다.

내부 라이닝이 구조체의 역할을 수행하게 되는지 여부는 이견이 있지만 앞에서 이미 언급한 대로 이의 해답은 지반과 1차 지보재의 거동에 의해서 결정되게 된다. 현재 서울 지하철 설계는 모든 터널이 1차 지보재에 의해 안정되는 것으로 고려하기 때문에 일부 구조물 하부 통과구간을 제외한 배수형 터널의 내부 라이닝은 자중만을 지탱하도록 설계되어 있다. 따라서 터널의 수명기간 동안 1차 지보재의 기능이나 지반 강도가 저하될 경우에는 내부 라이닝에 지반 하중이 전이되게 되고 전이되는 하중의 크기에 따라 터널의 안전에 문제를 야기시킬 수 있다. 특히 풍화토 혹은 미고결 토사 지반을 약액으로 보강하여 시공한 천층의 터널은 장기적인 관점에서 볼 때 내부 라이닝에도 하중이 전이되는 것으로 고려하는 것이 타당할 것이다.

내부 라이닝은 완전히 교란된 지반중에 되메움하여 설치한 구조물이나 지상 구조물과는 달리 작용하는 외력을 명확히 규명하기가 어렵다. 따라서 일반 토목 구조물의 설계개념을 터널 구조물에 적용할 때는 신중을 기해야 한다. 현행 내부 라이닝의 구조해석은 강도 설계법과 허용응력 설계법이 동시에 허용되고 있다. 그러나 강도 설계법을 적용할 경우 내부 라이닝에 작용하는 토압 산정과 하중계수를 어떻게 적용하여야 하는 것에 대해서는 세부적인 규정이 없는 실정이다.

4.2.3 굴착방법

굴착방법의 원칙은 자연 지반의 이완을 최소화 하는 것이다. 따라서 지반이 불량할수록 조기에 지보재를 설치하고 링폐합을 실시하여야 안전한 터널 시공이 보장된다. 현행 설계 표준 패턴에는 표준 굴착방법만을 제시하고 있을 뿐 실제 지반조건에 따라 변경하고 조정해야 하는 대응 굴착공법이 제시되어 있지 않다. 더욱이 종방향에 대한 굴착방법은 대부분 미흡하여 기술적으로 보완되어야 할 여지가 많다. 토사지반에서 적용하도록 되어 있는 링컷트(Ring Cut) 공법은 지지코아로 하여금 막장의 안정을 도모하고자 하는 방안이나 그 크기가 너무 커서 슛크리트, 록볼트 등의 지보재를 적절히 시공할 수 없기 때문에 막장 안정을 해치지 않는 범위에서 축소하여야 한다. 굴착공법도 지반조건이나 주변 여건을 고려하여 종방향으로의 상세한 시공 순서를 도면화 하여 제시하여야 한다. 또한 기계화 시공방안도 설계에 적극 수용되어야 한다.

4.3 설계 세부사항

4.3.1 횡갱과 수직구 및 본선의 연결

횡갱, 수직구 및 본선 터널의 연결부에서는 구조체의 불연속 지점이 형성되므로 응력집중 및 방수문제 등이 발생할 수 있다. 따라서 설계시에 이러한 연결부에는 응력 집중이나 방수문제, 시공성 등을 충분히 감안하여 분리 시공토록 하는 것이 바람직하다.

4.3.2 배수형 터널의 내부 라이닝 기초

내부 라이닝을 통하여 전달되는 하중을 인버트부 라이닝이나 바닥 슬라브에 원활하게 전달시키기 위하여는 기초보(Foundation)의 설치가 필요하다. 그러나 대부분의 내부 라이닝 아치는 기초보가 없이 바닥 슬라브 혹은 평평한 인버트 위에 직접 놓이게 되어 있다. 이러한 종방향의 기초보가 없는 경우 지반으로의 하중 전달이 원활하지 못하여 아치부와 바닥 연결부에 응력 집중이 발생되고 측방향 배수관 설치가 용이하지 못하거나 배수관에 의하여 내부 라이닝의 단면적이 감소될 수 있다. 또한 아치부 라이닝 거푸집의 거치 및 조정이 불리하다. 따라서 기초보를 설치하는 것이 바람직하다.

4.3.3 배수관의 설계

배수형 터널에 있어 배수시설의 개념은 매우 중요하며, 배수관로는 집수정까지 반드시 연속된 기울기를 가져야 한다. 특히 다른 지보 패턴이 서로 연결되는 부분에서는 단차가 발생하는 경우가 있으므로 이러한 경우가 발생하지 않도록 유의하여야 할 것이다.

4.3.4 터널과 개착 구조물의 연결부 시공 및 방수대책

터널은 주로 수평방향의 원통형 구조물이므로 방수재는 원통 주위를 감싸는 형상으로 시공된다. 그러나 개착 구조물의 방수재는 구조물의 외벽을 따라 육면체 구조물의 주위를 감싸는 형상으로 시공된다. 또한 터널의 방수공과 개착 구조물에 사용되는 방수공법이 다른 것이 일반적이고 구조적 측면에서도 터널과 개착 구조물의 연결부에서는 부등침하가 발생할 가능성이 크다. 따라서 터널과 개착 구조물의 접속부에서는 방수재의 연결 및 부등침하에 의한 방수막의 손상 등의 문제가 발생할 수 있다.

- 방수막 연결방식 : 터널과 개착 구조물 사이에 지수판을 설치하고 방수막을 연결하는 방식 또는 터널과 개착 구조물 사이에 전이 구조물을 사용하는 방식
- 구조적 연결방법 : 터널과 개착 구조물의 연결은 분리하는 것을 원칙으로 한다.

4.3.5 2-아치 및 3-아치 정거장의 방수막

2-아치 또는 3-아치 정거장은 시공절차가 복잡하여 방수막의 연결 시공 또한 복잡하다. 특히 지지기둥 상부에서의 방수막 연결은 설계시 시공순서를 충분히 고려하지 못하면 방수막에 결정적인 손상을 입히게 되고 기둥이 손상을 입는 경우도 발생할 수 있어서 구조물 완성후에도 이 부분에서 결함을 초래할 수 있다. 따라서 설계시에는 시공순서 및 시공오차 등을 충분히

검토하여 방수막 시공에 필요한 시공순서, 방수막 보호대책 및 충분한 시공 공간 확보가 되도록 하여야 할 것이다.

4.3.6 환기용 격벽 구조물

복선 및 대단면 터널에서는 효율적인 환기를 위하여 터널 중앙에 환기용 격벽 구조물을 설치하는 경우가 있다. 이러한 환기용 격벽 구조물은 고려하는 하중에 따라 격벽과 내부 라이닝을 분리 구조물로 할 것인가 또는 강결 구조로 할 것인가 결정하여야 한다. 일반적으로 열차 운행시의 공기압만 고려할 시는 분리 구조물로, 열차 전복 등과 같은 비상 하중 등을 고려할 때는 강결 구조로 하는 것을 원칙으로 한다. 물론 강결 구조일 경우에는 충분한 구조 검토를 하여야 할 것이다.

4.3.7 진동 및 소음

지하철 건설로 인한 진동 및 소음은 시공중에는 시공 장비 운행 및 발파, 그리고 시공 후에는 열차운행에 의하여 발생한다. 이러한 진동 및 소음에 대하여는 관련 기준이 미비한 점이 많고, 기존 기준 중에서도 적용이 잘못된 경우도 있다. 특히 열차운행에 의한 진동에 대하여는 그 해석법 자체가 아직도 상당한 연구를 필요로 하는 상태이다. 이 부분에 대해서는 설계단계에서 부터 보다 적극적으로 검토되어야 할 사항으로서 운행중에 시민에게 안겨줄 환경문제를 근본적으로 해결해 주고자 하는 자세가 필요하다.

5. 시 공

지하철 터널의 시공은 설계자의 의도대로 구조물을 완성하여 신속하고 쾌적하게 지하철이 운행될 수 있도록 하여야 한다. 이를 위하여 시공자는 설계자의 의도와 설계된 공법을 충분히 파악하고 이해한 후 시공에 임하여야 한다. 그러나 터널공법에 대한 국내의 기술 수준이 아직 충분치 못하고, 더욱이 한정된 기술인력에 비하여 과다한 공사량의 동시 발주 등으로 인하여 상기와 같은 시공자의 요건을 충족시키지 못하여 철저한 시공관리가 어려운 경우가 종종 있다. 특히 각 작업 공정에 투입된 인력이 각각 별도로 관리되고, 운영되고 있기 때문에 작업 공정의 연결이 순조롭지 못하고 휴지시간 등 손실이 많이 발생할 뿐만 아니라 NATM의 기본원리인 시간성 준수를 크게 저해하는 요인이 되고 있다.

같다.

5.1 터널의 방수 및 배수

터널의 방수 및 배수는 터널 구조체에 작용하는 수압을 조절하고 장치 열차운행에 필요한 설

비 및 미관상의 조건들을 만족시키기 위하여 다루어지는 매우 중요한 항목이다. 그러나 개념에 대한 이해부족으로 방수 및 시공에 있어서 부적절한 경우가 종종 있다.

시공중에는 안정성 확보를 위하여 막장면의 배수처리가 매우 중요하다. 특히 풍화토와 같이 물과 접촉했을 때 강도가 현저히 저하되는 지반에서는 막장에서의 신속한 지하수 처리가 무엇보다 중요하다. 현장에 따라서는 지반상태가 비교적 양호한 경우 막장에 지하수가 고여 연못을 이루고 있는 경우도 있는데, 이 경우에는 지하수로 인한 지반의 강도 저하 뿐만 아니라 막장에서의 작업성 불량으로 굴착에 이어 연속되는 슛크리트, 록볼트 등의 주요 지보재 설치 작업시 품질저하의 요인이 되기도 한다.

방수막 설치중에 부주의로 인하여 방수막에 손상이 발생하거나 대단면 터널의 경우 라이닝용 철근 거치를 위하여 방수막을 관통하여 앵커 볼트를 시공하는 사례도 있으며, 구조물 접합부에서의 방수막 접합이 소홀한 경우 등도 있다. 이러한 일들은 내부 라이닝 누수의 원인이 되며, 내부 라이닝 시공후에 방수막의 손상을 보수하기는 매우 어려우며 비용도 고가이다. 따라서 터널 시공시에는 방수막에 작은 손상도 발생치 않도록 철저한 시공관리를 하여야 한다.

5.2 터널 내공 치수 확보 및 부족시 대책

터널의 내공 치수는 안정성을 확보할 수 있는 지보재 설치와 원활한 열차운행을 보장할 수 있는 범위 내에서 최소값을 확보하여야 한다. 이를 위하여는 시공시 각종 오차를 고려하여 적절한 여유를 가지도록 정밀 시공하여야 한다.

터널의 시공중 내공이 부족한 경우의 대책은 궤도 선형 수정, 내부 라이닝의 두께 조정, 단면 재형성 등 여러 가지가 있으나 내공 부족상황이 인지된 시점에 따라 대책도 다르게 된다. 즉, 내공 부족상황이 시공 초기에 인지 될수록 대책 수립은 용이하다. 이를 위하여는 터널 시공중에 정밀한 내공 측정을 통하여 항상 내공의 크기를 확인하여야 한다.

5.3 1차 지보 시공 및 품질관리

1차 지보재는 터널의 안정성을 유지하기 위한 주지보재이므로 시공시에는 품질관리에 주의를 기울여야 한다. 1차 지보는 크게 슛크리트, 철망(Wire Mesh), 강지보, 록볼트 등으로 구성된다.

5.3.1 슛크리트

스�크리트의 품질과 시공 시기 등이 터널 시공의 성패를 좌우한다는 인식이 작업원까지 도달되지 못한 시공 현상이 많이 있음이 분석되었다. 굴착 직후에 슛크리트가 타설될 수 있도록 사

전에 준비된 현장은 많지 않았다. 이것은 작업 공정별로 별개의 팀이 형성되었기 때문에 팀 간의 인수 인계와 책임한계가 불분명하고 동일한 목적을 수행한다는 인식이 절대적으로 결핍된 결과로 분석할 수 있다.

숫크리트 품질면에서도 숫크리트 타설각도 및 배합 등에 문제가 있어 숫크리트의 부착성이 저하되거나 강도가 저하되는 일들이 종종 관측되었고 지반과 숫크리트 사이에 공극이 발생하여 터널 전체의 안전성을 해치는 시공이 목격되기도 하였다. 또한 국내의 숫크리트 타설은 대부분 건식이어서 작업기간 및 휴지기간이 반복되는 경우에 대한 적용성은 좋으나 타설시 상당한 분진이 발생되고 있으며 이로 인하여 작업환경이 불량하고 이러한 열악한 작업환경은 결국 충실한 숫크리트 시공을 기대하기 어렵게까지 하고 있다. 따라서 작업원들의 숫크리트에 대한 전반적인 인식의 전환과 작업환경의 개선만이 양질의 품질을 보장해 줄 것이다.

5.3.2 철망

1차 철망은 지반에 밀착되어 숫크리트가 지반에 잘 접촉될 수 있도록 도와주고 구조적 보강 효과를 최대한 발휘할 수 있도록 하여야 한다. 편의성 위주의 시공결과로 인하여 강지보재 위에 매어다는 경우가 있다. 이렇게 되면 숫크리트 타설시 철망이 진동을 하게 되어 숫크리트가 지반에 올바르게 부착되지 못하게 된다. 격자 크기가 너무 작은(50mm) 철망을 겹쳐서 시공하게 되면 격자 크기가 더욱 작아져 철망 배면에 공극이 발생하게 된다. 따라서 특정 목적을 위한 경우가 아닌 일반적인 경우의 철망 눈금 크기는 100mm가 적합하다

2차 철망을 두는 경우는 철망의 위치를 가능한 내측에 배치하여 구조적인 보강 효과를 증진시키도록 함은 물론 종방향으로 강지보재를 기준하여 절단되지 않도록 하여야 한다. 철망은 종/횡 모두 충분한 겹이음이 되도록 해야 하며 상/하반 연결부에서도 충분한 겹이음이 되도록 하여야 한다.

5.3.3 강지보재

강지보재는 암괴의 붕락으로부터 작업원을 보호하고 숫크리트 강도가 발현되기 이전의 1차적인 터널 안정을 도모해 주기 때문에 충분한 강성을 가져야 할 뿐만 아니라 협소한 공간에서 취급하기에 편리하도록 크기와 단면을 결정하여야 한다. 또한 숫크리트의 피복 두께를 유지해야 하기 때문에 숫크리트의 두께에 제한을 받기도 한다.

현행 강지보재 시공에서는 각 연결부의 체결상태가 양호하지 못하고 많은 경우에 간격재를 L-형 강재로 사용하도록 되어 있어 숫크리트 타설이 양호하게 되지 못하게 하는 경우가 발생한다. 더 나아가 PS-4를 적용하는 양질의 지반조건에서조차 숫크리트 두께보다 단면 크기가 큰 강지보재를 사용하는 경우가 있어 후속 공정에 대한 시공을 어렵게 하고 있다.

강지보재는 H-100×100 단면이면 충분한 것으로 사료되며 플랜지 배면의 공극부를 없애기 위

해서는 고정관념을 버리고 Lattice형 강지보재 또는 Steel Fiber 슛크리트 등의 과감한 도입이 필요하다.

5.3.4 록볼트

록볼트의 경우 신속히 설치하여 지반을 보강하거나 암반의 절리를 봉합하는 효과를 발휘하여야 한다. 그러나 현장에 따라서 천공홀에 록볼트를 삽입한 후 충진을 하지 않거나 충진후 지압판 등 두부를 체결하지 않은 상태에서 수일씩 방치하는 일들이 있어 록볼트의 효과가 충분히 발휘되지 않는 경우가 종종 있다. 특히 Swellex 록볼트와 같은 팽창형 록볼트 사용할 때에도 록볼트 설치와 동시에 팽창을 시키지 않고 방치하는 등 사용제품의 특성을 충분히 파악하지 못하고 시공되는 경우도 있었다.

록볼트는 터널 주변을 보강하여 주는 역할을 하나 터널 천단부의 얇은 암피복을 넘어서 포화된 충적토가 있는 경우 록볼트 시공은 지하수 유입을 초래할 수 있으므로 지반에 따라서는 그 사용을 자제하여야 하는 경우도 있다.

이러한 주지보재의 시공 오류는 대부분 NATM의 설계개념에 대한 잘못된 인식에 기인한다. 따라서 시공자는 이에 대한 올바른 개념을 가지도록 노력하여야 하며 작업원들에게 지속적인 교육을 실시하여야 한다.

5.4 내부 라이닝 시공 및 품질관리

내부 라이닝은 터널 구조체중 제일 안쪽이므로 외관 및 구조적으로 모든 조건을 만족하여야 한다. 이를 위하여는 라이닝 시공시 콘크리트의 품질, 타설 길이, 양생 조건, 철근 배근상태 등 모든 면에서 철저한 품질관리를 하여야 한다. 특히 라이닝이 구조적으로 필요한 두께를 유지하도록 각별히 유의하여야 한다. 이를 위해서는 내공 측정용 신 장비를 도입하여 관리하도록 하여야 한다. 라이닝에 발생한 균열은 구조적 및 외관상으로 문제를 유발할 수 있으므로 발생되지 않도록 세심한 시공을 요한다.

5.5 진동 및 소음

시공시의 진동 및 소음원은 주로 시공장비의 운행과 발파이다. 이러한 진동 및 소음에 대한 시공관리는 주로 진동의 상한치를 구조물별로 구별하여 일정한도 이하로 제한하는 방법을 사용하여 진동에 의한 구조적인 피해 측면만을 초보단계의 평가방법으로 평가하고 관리되어 왔다. 한편 시공시의 소음 및 진동에 의한 환경적 피해 측면은 대체로 무시되어져 왔다.

그러나 근래 문제시 되고 있는 집단이기주의 등에 능동적으로 대처하고 보다 효율적인 지하철

터널 시공을 위하여는 시공시의 소음 및 진동에 의한 환경적 피해에 대하여도 충분한 주의를 기울여야 할 것이다. 아울러 충분한 홍보도 실시하여야 함을 염두에 두어야 한다.

5.6 설계변경

NATM의 설계는 한정된 지반 정보를 토대로 실시되고 굴착 대상 지반도 변화가 심하기 때문에 최종 설계의 성격보다는 예비 설계의 성격을 띠게 된다. 이 공법의 원리 또한 실제의 지반 거동에 민감하게 대처해 가면서 시공하는 것이다. 이는 NATM에서의 설계변경은 필연적인 사항임을 내포하고 있다 하겠다.

현행 시공단계에서의 설계변경은 그다지 순조롭지 못하다. 그것은 설계가 경직되어 있고 변경사항에 대한 기술적인 판단에 대한 신뢰성과 이에 대한 수용의 한계성에서 기인되고 있다고 분석할 수 있다. 이러한 문제를 해결하고 합리적인 시공을 이룩하기 위해서는 기술력의 향상과 이에 적극적인 활용이 보편화 되어야 한다.

6. 계측 및 보조공법

6.1 계 측

NATM 터널 시공에 있어서 계측은 설계의 타당성을 검증해 주고 보조공법 등의 필요성을 판가름해 주는 기준이 되는 대단히 중요한 시공요소이다. 이는 공학적인 한계성을 최종적으로 보완해 주는 단계로서 반드시 충실하게 실시되고 결과가 정확하게 분석되어야 한다. 지하철터널에 있어서의 계측의 실태를 평가하면 부적절한 계측계획 및 기종 선정, 이로 인한 계측치의 신뢰도 문제, 불충분한 계측빈도, 불충분한 결과분석 등으로 요약될 수 있다. 이는 국내 지하철 공사에 있어서 계측이 전반적으로 충분히 시행되고 있지 못하고 있음을 나타내며, 그 원인으로는 NATM 터널과 계측의 관계에 대한 기본개념 인식이 부족하고 또 한편 계측에 사용되는 현대적인 장비 및 Sensor 들에 대한 지식 부족 뿐만 아니라 미흡한 재정 할당 때문으로 분석될 수 있다.

계측에 대한 전반적인 인식부족 및 부족한 지식은 단시일간에 극복될 수 없으나 지속적인 교육, 홍보 및 투자 등의 제도적인 뒷받침이 있어야 할 것이다.

6.2 보조공법 및 지반개량

보조공법 및 지반개량은 터널의 표준 지보 패턴 이외에 지반 및 기타 지역특성에 따라 추가적으로 적용하여 터널의 안정성을 확보하는 방법이다. 대표적으로 널리 사용되는 방법으로는 Forepoling, Pipe Roof 및 그라우팅 공법 등이 있다.

6.2.1 Forepoling

Forepoling은 매 2막장마다 철근을 이용하여 급경사로 시공하는 경우가 많다. 그러나 막장의 안정을 도모하기 위해 실시하는 Forepoling은 매 막장 설치하는 것이 바람직하며 설치각도도 수평에 가까울수록 효과적이다. 이를 위해서는 강지보재의 간격이 너무 좁거나 강지보재의 크기가 크면 곤란하다. 횡방향 간격도 지질이 나뉠수록 좁게 하여야 하며 일반적으로 Forepoling이 요구되는 지반이라면 그 설치간격이 40cm를 넘지 않아야 한다. 길이에 있어서도 지반중에 충분한 지지점이 형성되도록 굴진장의 2.5배 이상이 되도록 해야 하며 철근보다는 강파이프를 사용하여 강성을 높여 주는 것이 좋다.

6.2.2 Pipe Roof

Pipe Roof 시공에 있어서도 대부분 설치각도가 급하면 여굴 방지효과가 저하되므로 Pipe 설치 전 후방 천단부를 미리 확대 굴착하여 설치각도를 가능한한 완만하게 시공할 수 있도록 하는 것이 효과적이다. 이러한 시공이 불가능할 때에는 Forepoling과 병용하여야 효과적이다.

고압 수평분사와 병용할 경우는 대상 지반을 선별하여 시공하여야 효과적이다. 풍화토나 풍화암 지반에서는 그 효과가 크게 저감되고 충적층에서는 확실한 보강 효과가 있음이 시공을 통하여 증명되었다.

6.2.3 그라우팅

그라우팅 공법을 선정하기 위해서는 그라우팅 공법 적용상의 목적이 분명해야 하고 대상 지반의 특성을 명확히 파악하여 어떤 그라우팅 공법이 요구되는 목적을 달성해 줄 수 있을 것인가를 면밀히 검토하여야 한다. 현재 그라우팅을 실시하도록 계획되어 있는 경우를 살펴보면 그라우팅의 목적이 불분명하고 계획된 공법 적용에 대한 타당성을 기술적으로 뒷받침해 줄 수 없는 경우가 대다수이다. 이러한 무분별한 그라우팅은 경제적인 손실을 가져올 뿐만 아니라 지반을 오히려 교란시키는 결과를 초래하여 안전시공에도 유해한 결과를 가져올 수 있음을 인식하여야 할 것이다.

일부 설계자는 지반에 그라우팅을 실시하여 원지반의 강도를 필요한 강도까지 증가시켜 주도록 시방을 정하고 있으나 이는 비현실적인 접근방법이다. 즉, 풍화암에 LW를 주입하여 강도를 크게 개량할 수 없으며, SGR을 실시하여 풍화암 탄성계수를 연암정도의 탄성계수를 만들 수 있다고는 생각하기 어렵다.

따라서 터널 해석과정에서 그라우팅이나 보조공법 적용의 효과를 과대평가하여 적용하기 보다는 단순히 안전을 증가 차원으로 고려하는 것이 오히려 현실적으로 타당할 것이다.

7. 제도상의 문제점 및 개선사항

지하철 터널이 경제적이고 안전하게 시공되고 기술이 점진적으로 발전되기 위해서는 사회적 여건 조성 및 제도적인 지원이 필요하다.

7.1 현장 근로자에 대한 인식

현장 근로자는 일반적으로 “막장 인부”로 지칭되고 있으며 이는 사회적으로 낮은 계층으로 인식된다. 그러나 터널 시공에서의 현장 근로자는 특정한 기술 및 기능을 지닌 기술인 또는 기능인이며, 실제 시공되는 터널의 품질은 이들에 의하여 지배된다. 따라서 현장 근로자에 대한 사회의 인식 및 현장 근로자 자신들도 “후손에게 물려줄 유산을 건설한다”는 생각으로 자신들에 대한 인식을 전환할 수 있도록 사회적 여건을 만들어 주어야 한다. 이를 위해서는 주민들의 의식전환과 근로자들에 대한 사회적인 보상이 마련되어야 한다.

7.2 기술자 양성체계(기능인)

현재 터널 시공 기능인들은 대부분이 체계적인 교육 없이 막장에서 선배 기능인으로 부터 특수한 기능들을 전수 받는다. 이러한 방법에 의한 기능 전수는 매우 독자적인 기능으로 발전되는 수도 있지만 와전 및 왜곡되어 잘못 전수되는 경우가 더 많다. 그리고 장기적으로 지속되지도 못한다. 따라서 지속적인 기능인력의 제도적인 양성체도를 신설하여 자격 취득자를 대우해 주고 관리해 주는 체제가 확립되어야 한다.

7.3 공사 운영 조직

대부분의 지하철 건설공사는 발주처로부터의 1차 도급후 터널 공정을 몇 개로 나누어 각각 제도급된다. 따라서 실제 공사를 수행하는 시공팀을 굴착팀, 지보설치팀, 보조공법 시공팀 등으로 분할 구성되며 상호간의 협조체계가 원활하지 못하여 공정간에 시간 지연은 물론 부실시공을 발생시킬 수 있다. 이러한 분할된 시공팀에 의하여는 신속한 연계 조치가 어려운 바, “다기능팀”을 운영하여 시공함으로써 굴착, 지보 설치, 보조공법 등의 전 시공과정을 단일팀이 모두 수행할 수 있도록 하여야 한다.

7.4 제도상 제약

NATM은 본래 지반조건에 맞추어 지보 패턴 등을 적절히 변경하며 막장 상태에 신속히 대응하는 터널 공법이다. 그러나 현재 대부분의 공구에서 적용되고 있는 발주자-시공자의 관계는 이러한 설계변경을 사실상 어렵게 하고 있으며 원칙적으로 억제되고 있다. 따라서 설계변경, 신기술 도입 등이 합리적으로 수용될 수 있는 제도를 마련하여야 한다.

근래 일부 노선에서 채택하고 있는 일괄 도급 방식(Turn Key)은 시공자의 책임 및 비용 부담하에 자유로운 설계변경이 가능한 제도이므로 NATM 터널 시공 측면에서 볼 때는 바람직한 방법이라고 판단된다. 그러나 보다 좋은 제도를 위하여는 과거 실계에 얼마이지 않는 진취적인 사고와 부단한 연구/개발이 있어야 할 것이다.

< 참고문헌 >

서울특별시 지하철건설본부(1994), “제2기 서울 지하철 터널 설계 및 시공감리 종합보고서”