

대구경강관을 이용한 지하구조물 축조공법의 국내지반 적용성 연구

A study on the applicability of under ground structure using steel tubular roof in Korean geotechnical condition

이영복¹, 김정윤², 박인준^{*3}, 김경곤⁴, 이정호⁵

Lee, Young-Bock · Kim, Jeong-Yoon · Park, Inn-Joon · Kim, Kyong-Gon · Lee, Jong-Ho

Abstract

Recently, the development of underground structures is to be inevitably necessary due to the increase in population and traffic volume that has caused to the limit of urban land use and the heavy traffic jams. Therefore, underground structures such as subway, underground shopping centers, lifeline facilities and so on, have been increasingly constructed. On the other hand, several social problems have occurred during construction, i.e., ground subsidence, noise, and vibration. Therefore, safer and more beneficial methods for underground construction are on the demand. In this research, N.T.R.(New Tubular Roof) method has been modified and utilized for solving those problems and overcoming the difficulties connected with the bored tunnel construction of large underground openings in unfavorable ground, often under the water table, and with overburdens that are too shallow to solve problems of stability using traditional methods. The N.T.R. method has been modified to suit for Korean geotechnical conditions, and was made up for the weak points—the water leakage from walls and tops, the maintenance and the lack of stability—of the conventional methods. This paper dealt with the features and the applicability of N.T.R. Method based on the results from numerical analysis and data from in-situ monitoring system.

Keywords: Underground structures, N.T.R. method, ground condition, water leakage, stability

요 지

최근 지속적으로 늘어나는 인구와 교통량의 증가로 인하여 도심지국토이용 및 차도가 포화상태가 되어 지하공간의 활용이 매우 절실하게 되었다. 이에 지하 운송수단 및 지하상가 등 지하구조물이 증가하게 되었으며, 공사로 인한 지상의 교통지연, 불량한 지반조건 등으로 인한 각종 안전사고, 주변환경의 훼손, 소음진동에 의한 수많은 민원 발생 등은 사회적인 문제점으로까지 비약되는 경우가 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이런 문제점들을 해결함과 동시에 기존 지하구조물 축조공법으로는 안정성을 확보할 수 없는 열악한 지반조건에도 안전하고 경제적으로 지하 구조물을 시공할 수 있도록 N.T.R. 공법을 수정·보완하였다. 기존의 터널굴착 공법에서 많은 문제

1 (株)韓國엔티에스 연구개발부 과장

2 (株)韓國엔티에스 대표이사, 프레스턴대학 객원교수

*3 한서대학교 토목공학과 교수 (geotech@hanseo.ac.kr)

4 (株)韓國엔티에스 연구개발부 실장

5 범영건설(株) 대표이사

점으로 나타난 천정 및 벽체부의 누수문제와 이로 인한 안전성감소, 그리고 장기적인 유지보수 문제 등 시공상의 여러 단점을 보완하여 국내실정에 적합한 N.T.R. (NEW TUBULAR ROOF)공법을 개발하게 되었다. 본 논문에서는 N.T.R. 공법 적용 구조물에 대한 수치해석의 결과와 현장 계측자료를 토대로 N.T.R. 공법의 특징, 시공방법 및 국내 지하공간개발 적용가능성에 대하여 정리하였다.

주요어: 지하공간, N.T.R. (New Tubular Roof Method)공법, 기반조건, 안정성

1. 서론

도시기능이 포화상태인 현재, 인구의 도시집중화로 인한 교통량의 증가 및 지상구조물의 증가로 인하여 지하공간의 활용이 절실하게 요구되고 있다.

대부분의 도심지 지하공간 공사 시 지상 교통량의 증가로 인한 교통정체로 개착공법의 적용이 불가능하며, 소음과 진동으로 인한 민원발생과 환경문제, 기존의 지하구조물 주위에 새로운 지하구조물을 시공하는 경우 기존 구조물과 주위지반에 영향이 없어야 하는 문제 등이 있다. 따라서 보다 안전하고 친환경적이며, 민원발생이 없는 지하구조물 축조공법의 개발이 절실히 요구되어지고 있다. 최근 이런 요구에 부분적으로 충족할 수 있는 지하공간개발 신 공법들이 다수 연구 중이거나 개발되어 현장에 적용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 국내 소개된 공법 중 그 적용성면에서 가장 합리적인 N. T. R. (New Tubular Roof Method)공법의 특징을 정리하고, 최근 N. T. R. 공법을 이용하여 시공 완료된 지하구조물의 예상 취약부위에 설치한 계측기의 계측결과와 수치해석결과를 비교분석하여 N.T.R.공법의 안정성을 평가하였으며, 이를 통해 본 공법의 국내적용성에 대하여 정리하였다.

2. N. T. R. 공법의 특징

2.1 N.T.R.공법의 소개

본 공법을 최초로 지하구조물 축조에 사용한 것은 1988년 이태리의 베네치아 중앙역사 (Venezia Station) 공사라고 보고 되어진다 (Lunardi, 1990). 그 당시 본 기술을 「Cellular Arch공법」이라고 불렀으며, 이 공법 적용대상지역의 지층은 대부분 사질토, 실트질점토층

및 빙하 퇴적층이 널리 분포되어 있어 흙관을 압입하여 구조물을 완성할 수 있었다. 그러나 상대적으로 지반 강도가 연약한 유럽과는 달리 국내의 지층은 전단강도, 큰 퇴적암 층이 널리 분포되어 있어, 국내 여건을 고려하여 압입관을 흙관에서 강관으로 대체 적용하였다. 이런 단순 강관 대체적용을 통해 국내 여러 현장에 공법을 적용한 결과 1) 완성 후 벽면 재정리, 2) 상부 슬라브의 천정방수, 3) 노출된 상부강관의 유지관리 보수, 4) 측벽 굴착시 붕괴에 따른 안전사고, 5) 진행되는 타 구조물과의 단면 연결시 이질감 등의 문제점이 발생하였으며 이러한 문제점을 보완하여 새롭게 고안한 공법이 N.T.R. (New Tubular Roof Construction Method) 공법이다 (김정윤, 2003).

2.2 공학적 근거

이태리의 Lunardi 교수(1990)는 기존 공법들을 이용하여 지하 구조물을 건설하기 힘든 지하수의 유입이 많은 연약한 지반 및 저토피이며 지상에 교통량이 많아 개착공법을 사용할 수 없는 지역에 적용 가능한 공법을 고안하여 최초로 「Cellular arch 공법」을 소개하였다. 이 기술을 시초로 수년간의 기술 개발이 이루어졌으며, 최근에는 이런 기술개발에 기초하여 국내 기반조건 및 공사환경에 적합한 N.T.R.공법이 개발되게 되었다.

본 공법을 개발하게 된 공학적인 근거를 정리하면 다음과 같다. 대부분의 터널을 굴착하면 터널 주변 원지반의 응력이 재분배되어 지반이 압축 파괴되거나 인장응력발생으로 인해 주위의 지반과 분리되기도 한다. 이렇게 주변지반과의 결합력을 상실한 암괴나 토사는 터널굴착 시에 터널 내공으로 미끄러져 나온다. 이러한 활동은 점차 원지반까지 영향을 미쳐서 이완영역이 확대되어 터널 주변 원지반 지지력이 감소되어 결국은 터널의 붕괴로 이어질 수 있다. 이 영역 내의 원지반은 토압을 지지하지

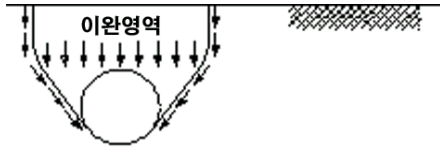


그림 1. 저토피 터널의 이완영역

못하고 그 자중이 지보공이나 라이닝에 하중으로 작용하게 된다 (이상덕과 김양운, 2003). 특히 토피가 작으면 이완영역은 지표면까지 도달하고, 거의 전토피 하중이 이완도압으로 작용하게 된다 (그림 1 참조). 이처럼 토피가 작고 지반이 연약할수록 터널 굴착에는 많은 어려움이 수반될 수밖에 없다. 도심지 지하공간개발 시 주로 발생하는 이런 저토피 터널공사의 어려움을 극복할 수 있는 신공법 개발은 여러 연구진에 의해 시도되고 있으며, 그 결과 중 일부는 최근 국내에 소개되어 현장에 적용하고 있는 실정이다.

위에서 언급한 저토피 터널굴착 시 발생가능 이완이론에 근거하여, N.T.R. 공법은 터널굴착 시 원지반 이완을 최소화 할 수 있으면서 동시에 터널설치의 안정성을 확보할 수 있도록 고안된 대형강관 (1500mm 이상)을 미리 터널 라이닝 설치부위에 압입한 후에 압입강관을 작업공간 및 라이닝 거푸집으로 이용하여 터널을 시공한다. 본 공법에 의한 모든 터널 굴착 작업을 미리 압입한 강관내에서 수행하므로 주변 지반의 이완을 최소화 시키며, 연약지반 내에서 발생가능한 지하수유입에 의한 터널 붕괴도 최소화 할 수 있다. 그러므로 도심지 저토피 터널굴착 및 지하공간 시공 시 발생가능 어려움을 해결할 수 있는 최신의 공법이다.

2.3 N.T.R.공법의 특징

본 공법의 특징은 기존 개발되어 현재 국내 적용되어지고 있는 지하구조물공법과 비교하면 다음과 같다 (김정윤 외, 2002).

대구경 강관 내에서 작업이 이루어지므로 작업자의 위험성이 전혀 없으며, 강관과 강관 측면부를 절단하여 철판으로 용접해 이어주므로 구조체의 방수가 확실하다. 또한 이런 방수를 통해 장기적으로 노출된 강관의 부식방지를 위한 유지관리 보수가 거의 필요 없으며 지상에

서 관 상단까지의 최소토피가 1.0m로 원하는 구조물을 구축할 수 있다. 이때 지상 및 지하구축물의 문제점 즉, 차량 및 시민의 통행 제한, 지하 구조물 이설, 도로노면 침하, 지하 매설물 손상 등의 문제점이 발생되지 않으며, 관 내에서 거푸집 설치가 정밀하게 시공되므로 지하 구조물의 벽면이 미려하게 형성된다. 시공 시 진행되는 타 구조물과의 단면 연결 시에도 이질감이 없고, 터널 갱구부 훼손이 없어 환경 친화적이며, 시공 시 소음 및 진동이 없으므로 도심 지하구조물 (터널, 지하상가 등) 구축에 적합하다.

시공성 측면의 특징으로 선도관 조정 장치에 의해 방향이 조절되며 곡선 선형이 용이하므로 시공성이 우수하고, 시공 길이에 제한을 받는 견인식 공법과는 달리 발진부에서 시작된 강관은 소정의 지점까지 길이에 대한 제한을 받지 않으며, 대형 강관 내에서 작업하므로 내부굴착, 잔토 반출 및 공사용 자재 운반이 비교적 용이하다. 기상 조건 등 외부조건에 관계없이 시공되므로 공사기간이 단축되고, 강관 선단부의 굴착 단면적이 일반 터널공사의 전단면보다 매우 작으므로 연약지반, 붕괴성 토질, 지하수 유입과 같은 문제성 지반에 대한 대체 적용이 용이하며, 강관 내 콘크리트 타설 단면이 타공법에 비하여 줄어들며, 구조물 자체 단면의 활용성이 뛰어난 공법이다.

3. 국내적용 N.T.R. 공법의 인정성 검토

3.1 현장개요

N.T.R. 국내 최초 적용현장은 경부 고속도로 주변 고지 배수로 확장 현장이다. 본 공법 적용 이유는 장마철 집중 호우시 강남 저지대 상습 침수 피해 방지를 위하여 경부 고속도로 주변 고지 배수로 확장공사 중 종점부가 당초 개착식 터널로 설계되어 있었으나 대상구간의 지장물 (광케이블, 가스관, 지역난방관 등)로 인하여 시공성이 난해하고 비경제적으로 판단되어 경제성 및 안정성이 상대적으로 우수한 N.T.R. 공법을 적용하게 되었다 (박인준 외, 2002).

공사 구간 총연장 360m 중 300m는 NATM공법을 적

용하였고, 60m는 N.T.R. 공법을 적용하였으며, 공사기간은 2001년 12월부터 2002년 4월까지이며, 적용구간의 지반조건은 상부로부터 자갈층, 모래층, 풍화토층, 기반암 순으로 토층이 구성되어 있으며 터널 기초지반은 표토로부터 심도 8.8m에 위치하게 된다. 터널하부의 기초지반은 지반조사결과를 토대로 할 때 느슨한 모래층으로 구성되어 있으며 표준관입시험 값이 7에서 10사이로 나타났으며, 시추 추상도에 나타난 지하수위는 심도 3.7m에 존재하는 것으로 나타나 시공 중 지하수위에 의한 보일링 발생위험이 존재하며, 상부 토피가 낮아 시공 중 도로의 침하발생 우려가 있었다. 또한 지상 도로 주변의 삼성 아파트 공사현장에 공사차량 및 일반차량의 통행과 삼익 아파트 주민들의 통행으로 인하여 개착식 공법은 민원발생 소지가 많아 적용하기가 어려운 상황이었다.

3.2 N.T.R. 구조물 일반도

N.T.R. 공법의 주재료인 대형강관 (∅700mm; 4개, ∅500mm; 1개) 5개를 압입한 후에 압입강관내의 토사를 굴착하여 벽체작업 공간을 형성하며, 압입강관 내의 측벽을 절단하여 H빔 (300×300×10×15)을 설치함으로써 지중구조물 뼈대 구조체를 형성한다. H빔 설치후 상부 및 벽체부 콘크리트를 타설하고, 최종적으로 지중구조체 내부의 토사를 굴착하여 하부공간을 형성하여 지중구조물을 완성하게 된다. 시공완료된 지중구조물 개념도는 그림 2와 같다.

3.3 수치해석을 이용한 안정성 검토

N.T.R. 공법을 이용하여 시공한 지하구조물의 안정성을 평가하기 위하여 상용프로그램인 FLAC을 사용하였으며, 이 수치해석 결과를 실험결과와 비교하여 상호 신뢰성을 검증 하였다. 최종적으로 이런 자료를 기초로 본 공법의 국내 적용성을 평가하였다.

FLAC의 특성을 살려 시공순서를 고려하여 시공 단계 및 시공 후의 안정성 검토를 하였으며, MIDAS를 이용한 대구경강관의 굴진 후 및 강관 측면부 절단 시 강관안정성 해석을 수행 하였다.

그림 3과 같은 지중구조물에 대하여 시공단계별 모사(그림 4 참조)를 통해 구조물의 축조 단계별 안정성을 평가하였다. 수치해석 결과인 그림 4를 통해, 강관을 지중에 압입한 후 강관 내부를 굴착하여 H-Beam을 설치하였으며, 콘크리트를 타설한 후 구조물 하부를 굴착하였음을 알 수 있다. 그림 5는 강관을 지반에 압입한 후, 각 지중구조물 요소들의 안정성을 해석하기 위하여 강관 주변의 주응력 및 변위특성을 정리한 것이다. 강관 굴착 후 강관주변의 주응력은 강관의 영향을 받아, 주응력의 방향이 미소하게 흐트러지는 것을 확인할 수가 있었으나, 인장력을 보이는 요소는 없었다. 그림 6은 지하구조물이 완성된 후 Mesh의 변형형태를 과장 (100배)되게 표현한 것이며 지하구조물의 최대 천단침하량이 2.25mm, 최대 측면변위량이 2.24mm으로 산정되었다.

대구경강관의 응력검토는 상용프로그램인 MIDAS를

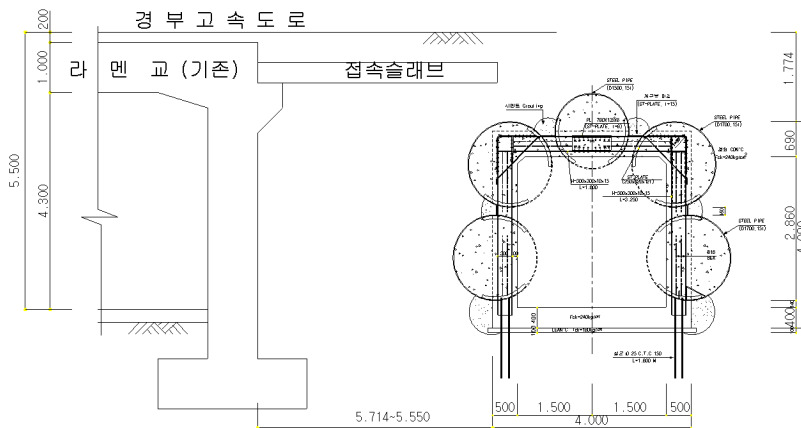


그림 2. N.T.R.공법 적용 지중구조물 개념도

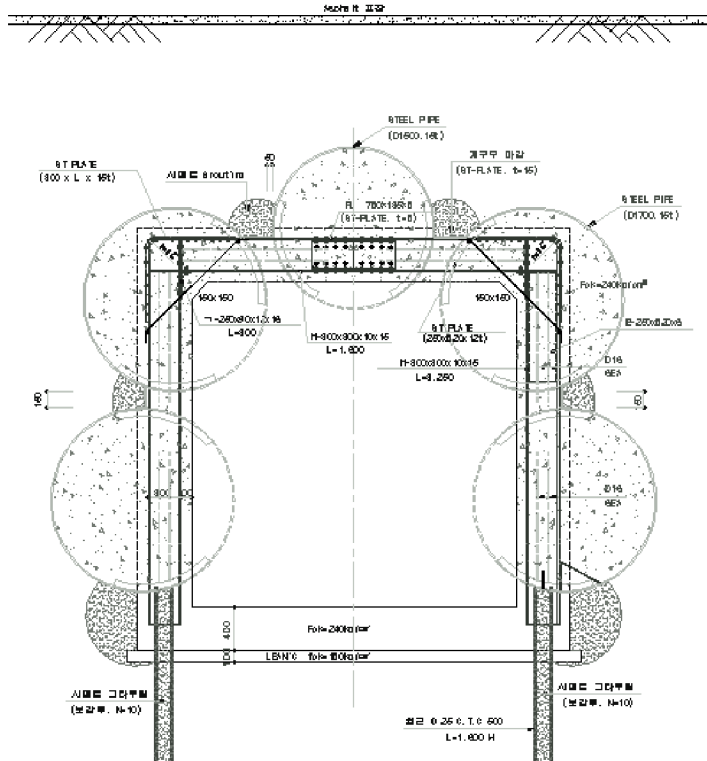
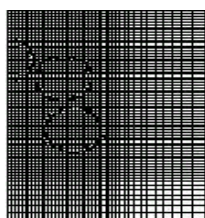
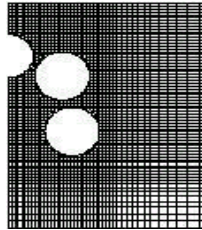


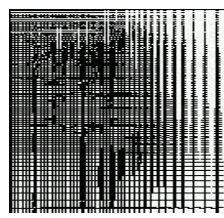
그림 3. 해석단면



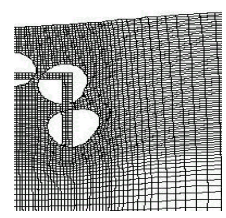
(a) 강관압입



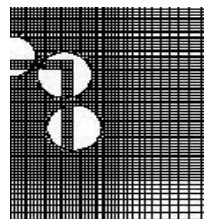
(b) 강관내 지반제거



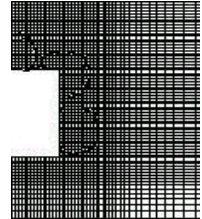
(a) 강관압입 후의 주응력



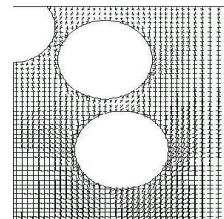
(b) H-Beam 삽입후 변형형태



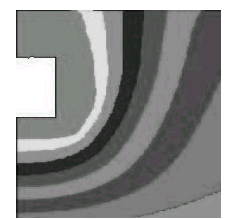
(c) H-Beam 압입



(d) 콘크리트 충전 및 하부 굴착



(c) 지반제거 후의 강관 주위의 주응력



(d) 콘크리트 타설 및 굴착 후 변위량

그림 4. 시공단계별 해석 개념도

그림 5. 시공단계별 응력 및 변형특성

이용하여, 두 종류의 강관을 해석 예로 사용하였다. 외경 1700mm 두께 15mm와 외경 1500mm 두께 10mm인 대구경 강관에 내부보강링 (I-Beam SM490) 150×150×7×10을 사용하였으며, 가설구조물의 경우 25% 증가된 허용응력 (=2375kgf/cm²)을 적용하여 수치해석 수행하였다. 강관압입을 완료한 후 보강링을 설치한 뒤에 강관에 작용하는 최대응력은 외경 1700mm 두께 15mm인 경우 788kgf/cm², 외경 1500mm 두께 10mm인 경우 621kgf/cm²으로 허용응력 보다 작은 값을 산출하였다.

보강링을 설치 후 강관측면을 절개 시 강관에 작용하는 최대응력은 외경 1700mm 두께 15mm인 경우 1360kgf/cm² (그림 7 참조), 외경 1500mm 두께 10mm인 경우 2024kgf/cm² (그림 8 참조)으로 허용응력 보다 작은 값을 산출하였다.

이 해석을 통해 강관 압입 후의 외부 토압에 의한 강관 자체의 구조적인 안정성 검토를 수행하였다. 그 결과 압입강관에 작용하는 토압은 강관 및 보강링에 의해 충분히 그 안정성을 확보할 수 있음을 판단할 수 있었으며, 강관 측면부 절개 후에도 지중 압입강관의 안정성에는 문제가 없는 것으로 해석되었다.

3.4 계측자료

3.4.1 계측목적 및 항목

경부고속도로 주변 고지 배수로 확장공사의 계측관리를 시행하여 지중구조물의 실제거동을 파악함으로써 지반조건에 관한 부족한 정보에 기초한 설계 상의 결함을 시공기간 중 제거 할 수 있으며, 위험징후를 발견하여 시공법을 개선하고, 지역의 특이한 경향을 파악하여 추후 설계시 이를 효과적으로 이용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 본 공사 현장의 계측은 연장 60m에 대하여 2002년 5월부터 2002년 6월까지 2개월에 대하여 실시하였다 (스마트텍앤지, 2002).

일상계측 (A계측)으로 내공변위 측정은 변위량, 변위 속도, 변위수렴상태를 파악하여 주위지반의 안정성, 1차 지보에 대한 설계및 시공의 타당성, 2차시공의 실시 시기등을 판단하였으며, 12개소에 설치하였다. 천단침하 측정은 천단의 변위량을 측정하여 터널 천정부의 침하를 판단하였으며 6개소에 설치하였다 (그림 9 참조).

3.4.2 계측결과 및 분석

내공변위측정에서 최대 변위량이 평가 기준치 또는 허용치를 넘으면 즉시 감리자와 협의 후, 조치해야하며, 지하구조물의 토피깊이, 굴착공법 등에 따라 평가기준치와 변위 허용량이 각각 다르므로 정량적으로 정하는 것은 곤란하나 현장의 상황을 잘 고려한 후 안정성과 경제성의 일치점을 구하여 평가한다. 시간 경과에 따른 내공변위 변화의 모습을 아래 그림 10에 예시하였다.

변위 속도가 일정하거나 증가하는 경우는 위험하며 2차 복공 타설은 변위가 수렴한 후 행하는 것이 바람직하나 평균변위 속도가 규정치에 미달하는 경우도 가능하다.

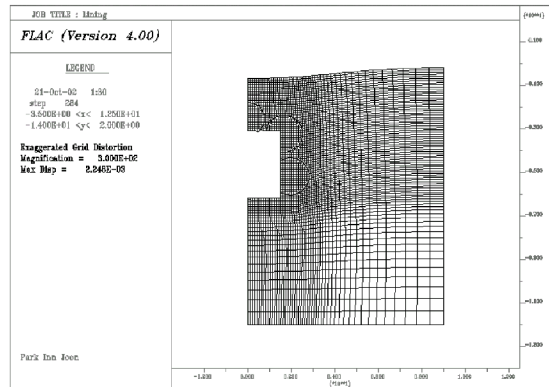
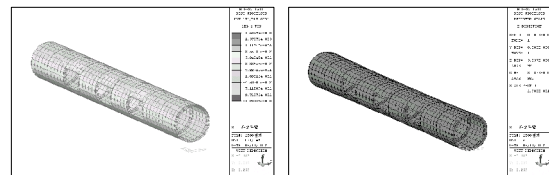
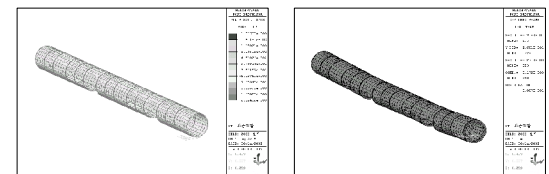


그림 6. 지하구조물 완성된 후에 최종변형



(a) 응력분포 (b) 변형도

그림 7. 보강 후 응력 및 변형도 (D=1700, t=15)



(a) 응력분포 (b) 변형도

그림 8. 보강 후 응력 및 변형도 (D=1500, t=10)

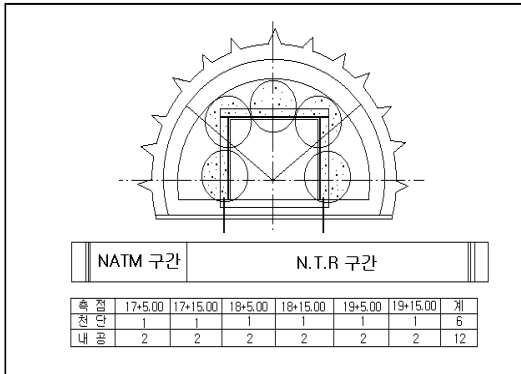


그림 9. 터널의 계측빈도 (천단 및 내공)

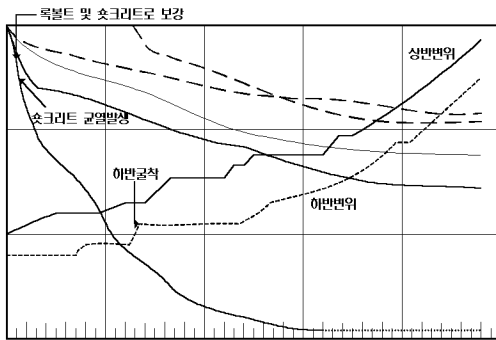


그림 10. 시간경과에 따른 내공변위 변화도

한국 도로공사 RMR 분류의 단면별 허용 변위량 중 VI-TYPE 1차관리 기준을 적용하였으며, 굴진이 종료 (관통)된 상태이다. 일상계측 (A계측)을 통하여 터널 안정성을 위한 계측관리를 수행하였으며, 최종 인버트 폐합으로 인해 수렴 종료하였다 (표 1 참조).

각 지점별 최종 내공 변위량을 정리하면, STA.17+5.00: 0.33mm, STA.17+15.00: 1.92mm, STA.18+5.00: 0.26mm, STA.18+15.00: -1.83mm, STA.19+5.00: 1.71mm, STA.19+15.00: 0.72mm로 계측되었으며, 최종 천단침하량은 STA.17+5.00: -2.00mm, STA.17+15.00: -2.00mm, STA.18+5.00: -1.00mm, STA.18+15.00: 2.00mm, STA.19+5.00: -2.00mm, STA.19+15.00: 1.00mm로 관리기준 30mm 미만으로 나타났다.

표 1. 지점별 변위 요약

계측기준	최대치변위	관리기준	판단	비고
대공 변위	1.92mm (STA.17+15.00)	30mm	안전	수렴 종료
천단	2.00mm (STA.18+15.00)	30mm	안전	수렴 종료

표 2. 계측값과 수치해석값의 비교

	계측결과	수치 해석결과
최대 천단	2.00mm (STA.18+15.00)	2.25mm
최대 측 변위	1.92mm (STA.17+15.00)	2.24mm

3.5 수치해석 및 계측자료의 비교

위 절에서 수행한 수치 해석결과 및 장기 계측결과 모두 N.T.R. 공법으로 축조한 터널이 그 안정성에 있어서 문제가 없는 것으로 산정되었다. 수치해석 결과 및 동일 위치의 계측결과를 비교하기 위하여 아래와 같은 표 2로 정리하였다. 최대 천단 침하량과 최대 측변부의 변위량의 계측결과와 수치 해석값이며, 두 결과 모두 미소하게 구조물 천단부에서 상대적으로 큰 변위를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

비교결과, 수치 해석값이 계측값 보다 0.25~0.32mm 정도 크게 나타났다. 그러나 두 결과의 차가 큰 값이 아니므로, 해석과 계측결과는 유사하다고 판단할 수 있었다. 이를 통해 본 연구에서 N.T.R. 공법의 안정성 평가를 위해 수행한 수치해석 결과는 신뢰할 수 있다고 판단된다. 해석 및 계측결과 NTR공법을 사용하여 만든 본 지하구조물은 구조적으로 안전하다고 판단할 수 있으며, 대구경강관의 안정성을 범용프로그램인 MIDAS를 이용하여 검토한 결과, 강관 절개시를 제외한 전 공사기간 내에 대구경강관은 허용응력 범위내에서 안정적인 응력 분포를 보임을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 지상의 교통상황이 차량증가와 각종 보수 및 신축 공사로 인하여 날로 악화되는 시점에서 지하구조물 시공시, 지상의 도로 및 기존 구조물에 거의 영향을 미치지 않는 N.T.R. 공법의 국내 적용성에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

수치해석한 결과값이 실제 시공 시와 반드시 일치한다고 볼 수 없으나, 시공 완료된 현장의 수치해석자료와 계측자료를 비교 분석한 결과 모두 안전하다는 결론이 나왔으며, 천단침하량과 측변부의 변위량의 계측결과와 수치해석값의 비교 결과, 수치해석값이 계측값보다 0.25~0.32mm 정도 크게 나타났으나, 큰 값이 아니므로 유사하다고 판단할 수 있다. 이를 통해 본 연구에서 N.T.R. 공법의 안정성 평가를 위해 수행한 수치해석 결과는 신뢰할 수 있음을 알 수 있었다.

N.T.R. 공법은 구조물의 정확한 시공이 가능한 개착식 공법 및 주변 환경을 잘 보존하며 시공이 가능한 기존 굴착식 공법의 장점을 모두 공유하며 주위지반 여건에 크게 민감하지 않으므로 시공 기술의 노하우가 쌓인다면 경쟁력 있는 지하구조물 축조공법이 될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 김정운 (2003) “지중에 압입된 강관 내부의 공간을 이용한 지하 건축물 축조공법”, 신기술 지정 신청서, pp. 55- 118.
2. 이상택, 김양운 (2003) “불연속면을 포함한 사질토 지반에서 터널 굴착에 따른 하중전이”, 터널기술, 한국터널공학회, 제5권 제3호.
3. 김정운, 박한준, 김경곤 (2002) “지하공간개발을 위한 N.T.R. 공법의 적용성 연구”, 연구보고서, 한국터널공학회.
4. 박한준, 배규진, 김정운 (2002) “N.T.R. 공법의 국내 적용성 연구”, 연구보고서, 한국터널공학회.
5. 스티텍지앤지 (2002) “경북고속도로 주변 고지 배수로 확장공사 계측관리 최종 보고서” pp. 2- 14.
6. 한국터널공학회 (2002) “터널의 이론과 실무”, pp. 217- 242.
7. 동원기초 “Smet-Boring and The Cellular Arch”, Smet-Boring Method, pp. 1- 17.
8. Lunardi, P. (1990), “Un nouveau systeme constructif pour la realisation de tunnel de grande portee dans terrains non coherents: I “Arc Cellulaire”. Colloquio internationale Les fondations des grands ouvrages”, Parigi, I: 227, 237.



이영복

(株)韓國엔티에스 연구개발부 과장
yaedol@knts.co.kr



김정운

(株)韓國엔티에스 대표이사
프레스턴대학 객원교수
jeongyoonk@knts.co.kr



박인준

한서대학교 토목공학과 교수
geotech@hanseo.ac.kr



김경곤

(株)韓國엔티에스 연구개발부 실장
kyonggonk@knts.co.kr



이정호

범영건설(株) 대표이사
iagopal@hanmail.net