

## 카린시안 터널 공법의 기준 제안을 위한 수치 해석적 연구 - 국내 고속철도 복선타널 표준 단면을 기준으로 -

노병국<sup>1)</sup>, 백승규<sup>2)\*</sup>, 차민웅<sup>2)</sup>

### Numerical Analysis for Carinthian Cut and Cover Tunnelling Method

Byoung-Kuk Roh, Seung-Kyu Baek, Min-Woong Cha

**Abstract** Carinthian cut and cover tunnelling method which combines cut & cover and NATM tunnel excavation method has increased the interest. Design and construction of arch concrete have been increased, but there is no applicable standards for arch concrete. Therefore, in this study numerical analysis was performed to propose standards for the Carinthian tunnelling method considering a variety of conditions such as ground conditions, tunnel overburden thickness, thickness of backfill, and overburden surface slope angle changes, linear regression equations derived to classify and organize a rational, economical, and safe Carinthian cut and cover tunneling method based proposed.

**Key words** Carinthian cut and cover tunnelling method, Numerical analysis, Regression analysis, Arch concrete

**초 록** 개착식공법과 NATM 공법을 결합한 카린시안(Carinthian) 공법에 대한 관심이 증가하고 있다. 아치콘크리트를 이용한 설계 및 시공 사례가 증가하고 있으나, 아치 단면에 대한 별도의 적용 기준이 없다. 따라서 본 연구에서는 카린시안 공법에 대한 기준을 검토하기 위하여 지반조건과, 터널 상부 지층 두께, 퇴매움 두께, 상부 지반 지표면의 경사 각도를 변화시키는 등의 다양한 조건들에 대하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석 결과들을 회귀분석법으로 분석하고, 유도된 회귀 분석식을 분류하고 정리하여 합리적이고, 경제적이며, 안전한 카린시안 공법의 기준을 제안하고자 하였다.

**핵심어** 카린시안(Carinthian)공법, 수치해석, 회귀분석, 아치콘크리트

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경

철도나 도로 등을 건설하기 위한 교통 인프라 건설 수요가 증가할수록 터널 수요 역시 함께 증가하고 있다. 이러한 터널의 수요증가와 더불어 갱구부와 저토피 터널 구간도 증가하고 있는 실정이다.

토피고가 1.0D 이하인 터널 갱구부와 저토피 구간은 터널의 지지 원리인 아칭효과가 발휘되기 어려울 뿐만 아니라 굴착이나 지반조건 변화 등으로 굴착 비탈면이 불안정한 구간이다(한광모 외, 2002).

또한 갱구 위치에 따라서는 아칭효과를 기대할 수 없어 강관다단 그라우팅 등의 보조공법을 적용하여 보강하므로 공사비가 과다하게 소요되거나, 대규모 비탈면 깎기로 인한 심각한 환경훼손과 공사 중 및 운영중 터널 갱구부 비탈면 붕락 등이 발생하는 문제가 발생할 수 있으므로, 굴착 비탈면 시공법 개선에 대한 근본적인 대책 마련이 요구되고 있다.

국내·외적으로 친환경적 건설문화에 대한 사회적 관심이 증대되며 터널 갱구부와 저토피 구간에 대한

<sup>1)</sup> 한국철도시설공단

<sup>2)</sup> 단우기술단

\* 교신저자 : bsknamin@hanmail.net

접수일 : 2013년 6월 5일

심사 완료일 : 2013년 6월 20일

게재 승인일 : 2013년 6월 26일

여 시공성과 구조적 안정성은 물론 원지반의 훼손을 최소화할 수 있는 환경 친화적인 건설에 대한 연구와 시공사례들이 증가하고 있다.

일본, 독일 등 선진국에서는 콘크리트 슬래브를 이용한 카린시안 공법에 대하여 기초적인 실험 연구가 진행되었으며(안정환 외, 2009; Sauer G., 1992), 일부 시공사례가 발표되었다(이성진 외, 2005).

유사한 형태인 개착식 터널에 대한 연구들은 주로 환경 훼손을 줄일 수 있는 방법에 대한 연구로 가시실을 이용한 방법(정명근 외, 2001), 개착 공기를 단축시킬 수 있는 프리캐스트 구조물을 이용한 방법(배규진 외, 2003)에 대한 연구와 개착식터널 전반에 대한 연구(양재원 외, 2010; 유건선, 2002)가 주로 이루어졌다.

저토포 갱구부, 완만한 경사의 갱구부, 도심지 저토포 구간에 대한 친환경적이며, 합리적인 카린시안 공법에 대한 연구들과 공법의 적용을 위한 기준 정립이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 카린시안 공법에 대한 기준을 제안하기 위하여 지반조건, 복토두께, 원지형 경사 각도 등의 조건들을 적용하여, 국내 고속철도 표준 단면을 기준으로 수치해석을 실시하였다. 수치해석 결

과들을 분석하기 위하여 회귀분석을 실시하고, 유도된 회귀분석식을 분류하고 정리하여 합리적이고, 경제적이며, 안전한 카린시안 공법의 아치콘크리트 제원에 대한 기준을 제시하고자 하였다.

## 2. 카린시안 공법 제원 결정을 위한 수치해석적 검토

### 2.1 카린시안 공법 개요

카린시안 공법은 NATM 굴착시 지반의 아칭효과를 기대하기 어려운 경우와 같은 지반조건에서의 상부지반 일부를 절토하여 현장에 적합한 형상(아치(Arch)형)의 콘크리트 구조물로 원지반과 결속 시공한 다음 깎기부를 되메움하고 터널내부를 굴착하는 방법으로 터널 굴착시 아칭효과를 발휘, 상부토압 감소 및 하중 분산이 가능하고, 개착터널에 비해 원지반 훼손면적 축소와 시공성이 우수한 친환경적인 터널공법이다.

아치 콘크리트의 설치 범위는 터널 상부 120°범위에 설치되었으며, 이는 일반적인 NATM 터널의 천단부 최소 보강 범위와 일치하는 것을 알 수 있다(정명근 외, 2001).

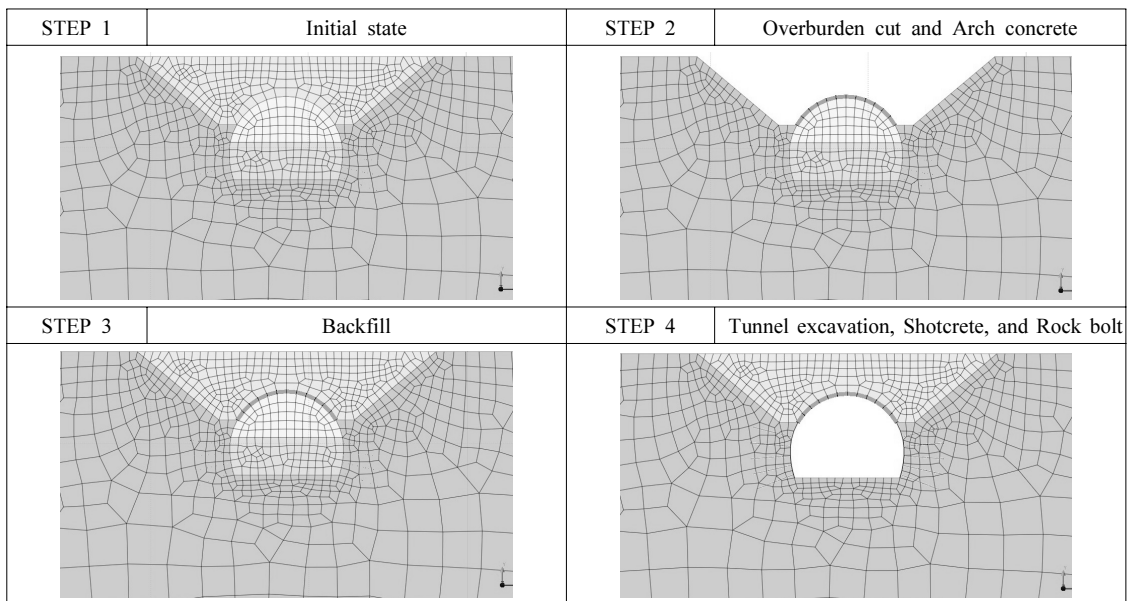


Fig. 1. Modeling procedure.

2.2 아치콘크리트 제원 결정을 위한 수치해석 개요

해석프로그램 개요

수치해석에 적용된 범용 프로그램은 MIDAS/GTS을 이용하여 수행하였다. 지반의 구성모델은 응력-변위관계의 평가를 위해 탄소성모델을 사용하였으며, 소성영역 판정을 위해 지반의 항복거동을 잘 표현할 수 있는 M-C(Mohr-Coloumb) 파괴기준을 적용하였다. 아치 콘크리트는 사각형 2차원 요소로 선형 탄성 재료로 가정하여 plate 요소로 모델링 하였으며, 카린 시안 공법의 수치해석상 시공순서는 Fig. 1과 같이 실제 시공순서와 동일하게 모사하였다.

검토방법

가) 해석 개요

아치 콘크리트의 두께나 설치 범위에 대해서는 별도로 규정하지 않고 있어 구조물마다 다른 방법으로 설계되고 있으며, 단면 결정을 위한 적정기준이 없기 때문에 안전율이 과다한 비경제적 설계가 될 우려가 있다. 이에 본 연구에서는 아치 콘크리트의 두께 및 설치범위를 달리해 해석을 실행하여 최적의 아치 콘크리트 단면설계를 위한 방안을 도출하고자 하였다. 아치 콘크리트 타설 후 NATM 시공시 터널의 안정성 확보를 위하여 아치 콘크리트의 두께를 크게 하는 것이 안정할 것이나 지지점에서의 지지력 문제와 경계성을 고려할 때 적정두께를 산정하는 것이 매우 중요할 것으로 판단된다.

터널의 좌우 해석범위는 지반의 초기응력 상태에 영향을 받으며 축압계수  $K_0$ 값이 클수록 영향범위는 증가한다. 해석영역은 좌우에서는 3.5D 이상으로 정하여 해석하였다.

나) 경계조건 및 지보재의 모델링

모델링 적용 터널은 최근 시공이 가장 많이 되고 있

는 고속철도터널 표준단면으로(폭 12.0m 높이 8m), 터널 하부의 경계조건은 연직방향(Y방향) 변위를 구속하였으며, 터널 좌, 우의 경계조건은 연직방향은 변위 허용, 수평방향은 변위를 구속하였다. 본 연구의 터널 지보재는 슛크리트와 록볼트 등이며 강관보강은 고려하지 않았다.

아치 콘크리트와 슛크리트는 Beam요소로 모델링하며 각 절점에서 3개의 자유도를 가지며 힘에 저항하는 구조요소로 사용되며, Beam 요소의 강성은 단면적, 단면 2차 모멘트 및 탄성계수에 의해 정의되며 선형재료 거동하는 것으로 가정된다. 록볼트는 Embedded Truss 요소로 모델링하며 일축인장에 지배 받는 1차원 부재로 계산하고, 축방향 강성은 록볼트의 단면력, 탄성계수에 의해 결정된다.

다) 입력정수의 산정

본 연구에서는 수치해석을 위한 기본 입력물성치 산정을 위하여 한국건설기술연구원(1998)에서 수행한 “국내 터널설계 기술력 향상을 위한 신기술 연구 (I)”의 조사결과를 토대로 하여 원지반 강도정수를 산정하였다.

국내터널 38개소에 적용된 원지반의 입력물성치 가운데 터널의 수치해석에 필요한 탄성계수, 점착력, 내부마찰각의 적용 범위를 Table 1과 같이 정리하여 현장 여건 등에 따라 아치콘크리트 지점부에서 경암이 출현 할 수 있으므로 풍화도 ~ 경암까지 모델링 하였다.

본 연구에서는 축압에 의한 변수를 배제하기 위하여 축압계수  $K_0=1.0$ 을 적용하였으며, 아치 콘크리트의 입력정수는 Table 2와 같다(콘크리트 구조설계 기준).

2.3 아치콘크리트 안정성 검토(1) - 복토두께

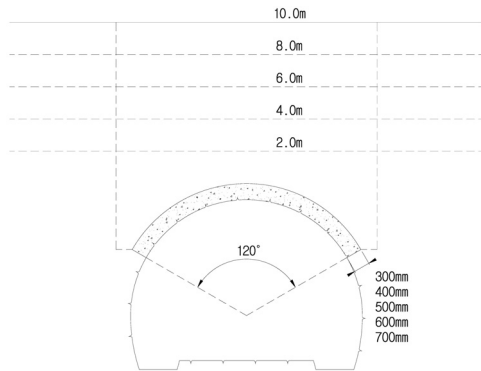
일반적으로 터널 굴착시 복토두께가 얇은 구간에서

Table 1. Material properties

| Rock type      | Specific gravity(kN/m <sup>3</sup> ) | Elastic modulus(kN/m <sup>2</sup> ) | Cohesion(kN/m <sup>2</sup> ) | Internal friction(°) | Poisson's ratio |
|----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------|
| Soil           | 19                                   | 3.5×10 <sup>4</sup>                 | 10                           | 30                   | 0.35            |
| Weathered rock | 23                                   | 3.9×10 <sup>5</sup>                 | 184                          | 32                   | 0.30            |
| Moderate rock  | 25                                   | 2.1×10 <sup>6</sup>                 | 930                          | 37                   | 0.27            |
| Hard rock      | 27                                   | 1.9×10 <sup>7</sup>                 | 1400                         | 43                   | 0.23            |

**Table 2.** Arch concrete material properties

| Type     | Specific gravity(kg/m <sup>3</sup> ) | Elastic modulus(MPa) | f <sub>ck</sub> (MPa) |
|----------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Xoncrete | 2,300                                | 2.3×10 <sup>4</sup>  | 24                    |



**Fig. 2.** Numerical analysis for arch concrete thickness and overburden.

는 깎기를 통한 개착식 터널설치나 NATM 통과가 불가능할 경우 상부 지상보강 그라우팅+내부 보강그라우팅공법을 적용 후 도로 및 철도건설이 수행되고 있으며, 개착식 터널 시공은 환경보전의 관점에서, 시공 후 터널상부 지표층을 깎기를 수행하기 이전과 같은 형상으로 되메움 하는데, 이때 개착식 터널 라이닝에 편토압이 발생하게 된다.

그러나 종래의 아치형 개착식 터널 구조물의 설계에서는, 터널 천단부로부터의 되메움 높이만을 계산하여 되메움 하중을 적용하였기 때문에 편토압의 영향을 적절히 고려하지 않았으며, 반개착식 공법의 경우 아치콘크리트 상부 복토 현황에 따른 거동 분석이 전무한 상황이다. 따라서 유한요소 모델을 이용하여 터널 구조물 상부의 지반조건에 따른 깎기비탈면의 기울기 및 원지반 형상에 따른 성토비탈면의 경사각도, 되메움 두께가 아치 콘크리트 및 터널 주변지반에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

본 절에서는 수평지형 조건에서 터널의 계획심도에 의해 결정되는 아치콘크리트 상부 복토 두께에 대한 영향을 검토하기 위하여 Fig. 2와 같은 조건을 선정하였다.

토질 조건은 풍화토, 풍화암, 연암, 경암 4종류의 지반을 선정하였으며, 복토두께는 2m, 4m, 6m 8m,

10m로 결정하였고, 깎기비탈면 기울기에 의한 수평 토압 증가에 대한 영향을 배제하기 위하여 기울기는 수직으로 가정하였다.

**2.4 아치콘크리트 안정성 검토(2) - 경사각도**

카린시안 터널 공법을 포함한 복개 터널 구조물은 시공시 지반굴착 이전의 원지반 조건으로 복원을 위하여 일정한 경사각도를 갖는 경사시공을 하게 되고, 이로 인하여 편토압이 작용이 불가피하다.

현재 복개 터널구조물의 설계를 위하여 일반적으로 적용되고 있는 구조공학적인 해석에서는 연직토압은 콘크리트 라이닝 상부 성토체를 상재하중으로 고려하여 산정하고, 좌, 우측에 작용하는 횡방향 토압은 정지토압 분포를 적용하고 있다. 그러나 이러한 토압분포는 콘크리트 라이닝 좌, 우측 측벽부 외측에서 성토체의 경사시공에 의한 편토압의 영향을 고려할 수 없다.

따라서 본 절에서는 원지반 비탈면에 의한 편토압의 영향을 검토하기 위하여 지반공학적인 모델링 기법으로 편토압 영향을 고려한 아치 콘크리트의 구조적 안정성과 공학적 거동특성을 분석하였다.

토질 조건은 풍화토, 풍화암, 연암, 경암 4종류의 지반을 선정하였으며, 원지반 비탈면 경사각도는 0°, 10°, 20°, 30° 로 변화시켜 수치해석을 수행하였고, 비탈면 기울기는 모든 지반에 같은 조건으로 해석을 수행하기 위해 1:1 기울기를 적용하였다(Fig. 3).

**3. 영향인자 상관관계 분석 및 고찰**

본 연구에서는 카린시안 공법 아치콘크리트 두께의 주요 인자인 지반조건, 원지반 사면의 경사각도, 복토 두께와 아치콘크리트의 두께의 상관관계를 조사하기 위하여 회귀분석을 실시하고 영향 인자별 회귀식을 산정하였다.

**3.1 복토두께 변화에 의한 영향인자 분석**

복토두께 변화에 의한 연직내공면위의 상관관계 분

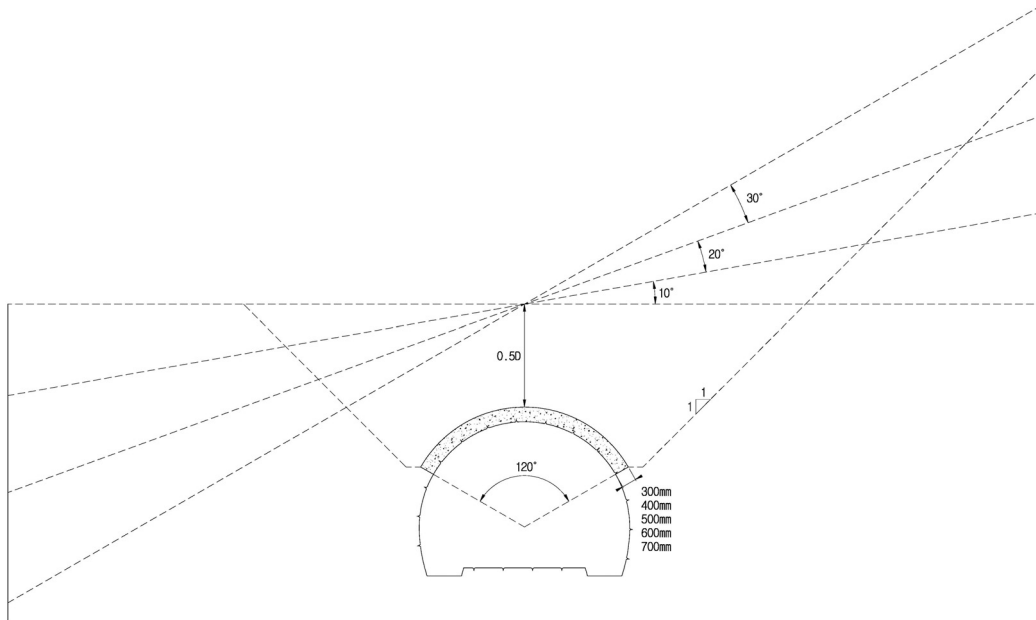


Fig. 3. Numerical analysis for arch concrete thickness and surface slope angle.

석 결과 상관관계는 최소  $R^2=0.8762$ , 최대  $R^2=0.9995$ 로 높은 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 다음과 같은 관계가 성립함을 알 수 있었다. 풍화토의 경우 경향이 비선형으로 분포하여 높은 상관성을 확보하기 위하여 2차 다항식을 적용한 회귀식을 도출하였다. Table 3은 지반조건별 복토두께 변화에 대한 내공변위 회귀식을 정리한 것이다.

### 3.2 경사각도 변화에 의한 영향인자 분석

경사각도에 의한 내공변위의 상관관계 분석 결과 상관관계는 최소  $R^2=0.9354$ , 최대  $R^2=0.9999$ 로 높은 상관성이 있는 것으로 나타났으며, 다음과 같은 관계가 성립함을 알 수 있었다. 경사각도의 상관성이 가장 양호한 것을 알 수 있었으며, 경사각도에 의한 경향이 비선형으로 분포하여 높은 상관성을 확보하기 위하여 2차 다항식을 적용한 회귀식을 도출하였다. Table 4는 지반조건별 지표면 경사각도 변화에 대한 내공변위 회귀식을 정리한 것이다.

아치콘크리트의 제원에 영향을 줄 수 있는 아치콘크리트의 두께, 지반조건, 복토두께, 경사각도를 변화시키며 실시한 총 260회의 수치해석결과들의 상관성 분석을 위하여 단순선형 회귀분석을 수행하였다.

분석결과 총 40개의 영향인자 회귀식을 도출하였으며, 도출된 회귀식의 상관관계는 최소 0.852이었으며, 평균 0.95이상으로 상관도가 매우 높은 것을 알 수 있었다.

본 연구의 결과물인 40개의 회귀식을 이용하여 현장 조건에 맞는 최적의 아치콘크리트의 두께를 결정하는 것이 가능하다고 판단된다.

### 3.3 고찰

카린시안 공법의 아치콘크리트의 제원을 결정하기 위하여 국내 고속철도 표준단면으로 수치해석을 실시하였으며, 상관관계분석을 통하여 영향 인자별 상관식을 유도하였다. 유도된 상관식들을 이용하여 실제 아치콘크리트의 제원을 결정하기 위한 방법에 대하여 고찰하고자 한다.

일반적으로 터널 설계 및 시공시 수치해석적 방법 또는 유사 조건의 기존 자료 분석을 통한 경험적 방법을 이용하여 지반 조건별 내공 및 천단변위 기준치를 선정하며, 아치콘크리트의 영향인자 분석으로 유도된 회귀식을 이용하여 아치콘크리트의 제원을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

설계 및 시공시 지반 조건과, 원지형의 경사, 복토

**Table 3.** Relation between inner displacement and backfill thickness

| Arch concrete thickness | Rock type      | Equations of linear regression analysis              |
|-------------------------|----------------|--|
| 300mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -5.4437 \times B(\text{m}) + 6.7579$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -1.6601 \times B(\text{m}) + 2.6164$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.8874 \times B(\text{m}) + 0.8469$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.5292 \times B(\text{m}) + 0.3503$ |
| 400mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -5.5028 \times B(\text{m}) + 5.9129$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -1.4827 \times B(\text{m}) + 2.0596$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.7198 \times B(\text{m}) + 0.5229$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.3824 \times B(\text{m}) + 0.1620$ |
| 500mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -5.7587 \times B(\text{m}) + 6.4366$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -1.4660 \times B(\text{m}) + 1.8908$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.6226 \times B(\text{m}) + 0.3024$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.2956 \times B(\text{m}) + 0.0477$ |
| 600mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -5.7892 \times B(\text{m}) + 4.6001$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -1.4808 \times B(\text{m}) + 1.6778$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.5667 \times B(\text{m}) + 0.1430$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.2440 \times B(\text{m}) - 0.0215$ |
| 700mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -5.9966 \times B(\text{m}) + 3.9110$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -1.4939 \times B(\text{m}) + 1.3893$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.5597 \times B(\text{m}) + 0.1180$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.2119 \times B(\text{m}) - 0.0667$ |

Y:inner displacement, B:backfill thickness

두께를 알고 있을 경우 40개의 영향인자 회귀식 중 현장 조건과 일치하는 회귀식을 이용하여 각 아치콘크리트 두께별 예상 변위를 구하고, 적용 현장의 지반 조건별 내공 및 천단 변위 기준과 비교하여 변위 기준을 모두 만족하는 조건을 아치콘크리트의 두께로 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 시공성 및 경제성과 안정성이 향상된 친환경 터널 공법인 카린시안 공법에 대하여, 산악 지형과 계곡 등이 발달한 국내 실정에 맞는 설계 기준을 제시하고자 하였다.

현재 카린시안 공법의 아치콘크리트의 단면에 대하여 별도로 정해진 기준이 명확히 정립되어 있지 않아 설계자마다 다른 방법으로 설계되고 있는 실정이며, 단면 결정을 위한 적절한 기준이 없기 때문에 안전율이 과도한 비경제적인 설계가 될 우려가 있다.

본 연구에서는 지반조건, 아치콘크리트 두께, 복토 두께, 경사각도의 총 4개의 영향인자의 조건들을 변화시키며 고속철도 표준단면으로 수치해석을 실시하고, 영향인자간의 상관성 분석을 실시하였으며, 합리적이고 경제적이며, 안전한 아치콘크리트의 단면 설계 방안을 도출하고자 하였다.

이상의 결과들을 요약하면,

- 1) 카린시안 공법의 아치콘크리트 두께 및 설치 범위에 대한 영향인자 분석을 위하여 260회의 수치해석을 실시하였으며, 영향인자들에 대한 회귀분석을 통하여 기반암 지반조건, 아치콘크리트 설치범위, 아치콘크리트 두께, 상부 복토두께, 원지반 비탈면 경사각도에 대한 총 40개의 회귀식을 도출하였다.
- 2) 갱구부 또는 저토퍼 터널에서 현장 시추조사를 통하여 지반조건 자료를 획득하고, 터널 천단부 복토 두께와 현지의 경사각도를 알고 있을 경우 본 연

**Table 4.** Relation between inner displacement and surface slope angle

| Arch concrete thickness | Rock type      | Equations of linear regression analysis            |
|-------------------------|----------------|--|
| 300mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -0.0845(S)^2 + 1.3832(S) - 30.306$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -0.0507(S)^2 + 0.3561(S) - 5.9905$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.0424(S)^2 + 0.2967(S) - 3.7967$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.0441(S)^2 + 0.4431(S) - 2.9482$ |
| 400mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -0.0731(S)^2 + 1.1315(S) - 30.906$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -0.0348(S)^2 + 0.147(S) - 5.6411$  |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.0275(S)^2 + 0.1503(S) - 3.1607$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.0239(S)^2 + 0.1849(S) - 2.0193$ |
| 500mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -0.0682(S)^2 + 0.9843(S) - 31.743$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -0.0279(S)^2 + 0.0518(S) - 5.7116$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.0192(S)^2 + 0.0689(S) - 2.7911$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.0141(S)^2 + 0.0845(S) - 1.5306$ |
| 600mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -0.0646(S)^2 + 0.8486(S) - 32.681$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -0.0263(S)^2 + 0.0199(S) - 5.9527$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.015(S)^2 + 0.0389(S) - 2.6258$  |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.0091(S)^2 + 0.0463(S) - 1.2666$ |
| 700mm                   | Soil           | $Y(\text{mm}) = -0.0613(S)^2 + 0.7229(S) - 33.754$ |
|                         | Weathered rock | $Y(\text{mm}) = -0.0252(S)^2 + 0.0036(S) - 6.3034$ |
|                         | Moderate rock  | $Y(\text{mm}) = -0.0161(S)^2 + 0.0875(S) - 2.6382$ |
|                         | Hard rock      | $Y(\text{mm}) = -0.0065(S)^2 + 0.0317(S) - 1.1171$ |

Y:inner displacement, S:surface slope angle

구에서 도출된 영향인자 회귀식을 적용하여 아치 콘크리트의 두께를 결정하여, 반개착식 공법의 적용 결정을 위해 신속한 의사결정이 가능할 것으로 판단된다.

- 3) 향후 본 연구에서 제시한 영향인자 회귀식을 이용하여 카린시안 공법의 아치콘크리트제원을 결정할 수 있을 것으로 판단되며, 카린시안 공법의 정립을 위하여 본 연구 결과를 참고로 보다 합리적이고 경제적이며, 안전한 프로그램 개발과 같은 많은 연구가 이루어져 철도터널 뿐만 아니라 도로터널, 전력구 터널 등에 널리 확대 적용되어 지기를 기대한다.

### 사 사

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 “터널 건설 기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 한광모, 박인준, 2002, 환경친화적 저토피 터널굴착 공법, 터널기술 제4권, 제3호, pp. 207-165.
2. 안정환, 이상덕, 2009, 반개착식으로 굴착한 천층터널에서 Braced Rib Arch의 거동, 한국터널공학회 논문집, 제11권, 제4호, pp. 419-425.
3. Sauer, G. 1992, The Schurzgerg Tunnel. Oberrieden, Sept., Proc, 1st International Symposium on Tunnel Construction and Underground Structures, Ljubljana, Slovenia, Chap. 2, pp. 151-165.
4. 이성진, 나상민, 김상희, 이상덕, 2005, 천층터널 시공을 위한 새로운 반개착 공법 개발 및 검증 연구, 대한토목학회 정기학술대회, pp. 3684-3687.
5. 정명근, 박치면, 이호, 김승렬, 2001, 프레임 슬래브 공법을 적용한 천층터널의 시공법 연구, 한국지반공학회 봄학술발표회,
6. 배규진, 정형식, 이규필, 2003, 복개 터널구조물에 작용하는 편토압 고려를 위한 수치해석적 연구, 한국터널공학회 논문집, 제5권, 제3호, pp. 227-239.
7. 양재원, 이상덕, 2010, 편경사지에 굴착한 반개착식 천층터널에서 아치슬래브의 거동, 한국터널공학회 논문

집, 제12권, 제2호, pp. 157-164.  
8. 유건선, 2002, 지표경사가 개착식 터널의 구조적 거동

에 미치는 영향에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 제 22권, 제1-C호, pp. 99-109.

---

**노 병 국**  
한국철도시설공단 강원지역본부

E-mail: rohbk@kr.or.kr



**백 승 규**  
(주) 단우기술단

Tel: 031-776-0070  
E-mail: baknamin@hanmail.net



**차 민 응**  
(주) 단우기술단

Tel: 031-776-0070  
E-mail: minung24@hotmail.com