

# Tunnelling Technology

## Single Shell NATM의 설계( I )



윤지선  
인하대학교 지구환경공학부 교수



김선명  
인하대학교 지구환경공학부 박사과정

### 1. 싱글 셸이란?

#### 1.1 싱글 셸의 정의

종래와 터널구조는, 슛크리트등과 2차 복공 사이에 방수공을 겸한 Isolation공(2차 복공의 구속, crack 방지를 목적으로한 완충재)이 시공되어, 양자간에 전단력이 전달되지 않는 이중구조(Double Shell구조)가 일반적이다. 그러나, Isolation공을 시공하지 않고서도, 슛크리트등과 2차 복공을 일체가된 양자간에 전단력의 전달이 가능한

구조(Single Shell구조)도 생각되며, 그 경우에는 지반과 복공이 일체가된 합성구조로서 거동한다.

역학적으로는 전단력이 전달되는 일체구조가 합리적이며, 막장 후방에서 거푸집을 사용하여 별도 공정으로 시공되는 2차 복공이 간략화 또는 생략될 수 있다면, 시공의 합리화도 가능하다고 생각된다.

이상의 것을 전제로 싱글 셸을 아래와 같이 정의한다.

여기서, 정의한 싱글 셸의 주변지반과 일체로써 작용하고 주변지반의 지보기능을 유효하게 활용하며 tunnel 및 주변지반의 안정을 도모하는데 있어서는 종래의 NATM

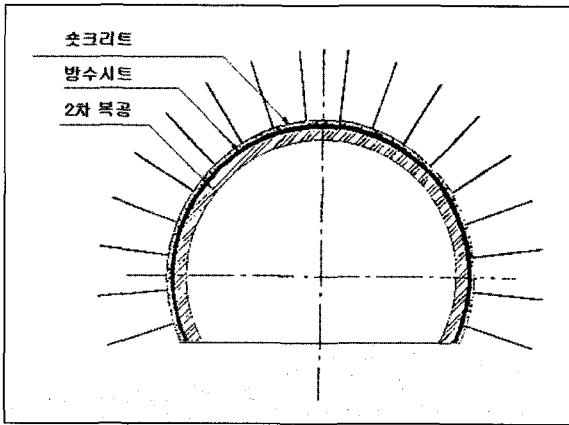
#### 【싱글 셸의 정의】

싱글 셸이란 지보·복공 부재로서 양호한 품질<sup>®</sup>의 슛크리트 등<sup>®</sup>이 시공<sup>®</sup>되고, 복공 내에 방수시트 등의 전단력의 전달을 방지하는 재료를 포함하지 않는, 지반과 일체화 한 최종 마무리 구조의 터널을 말한다.

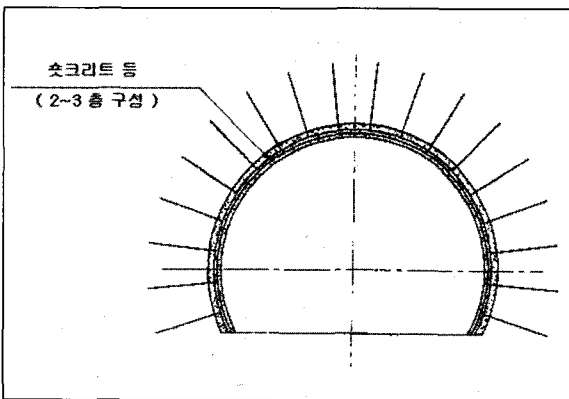
#### 【해설】

- ① 양호한 품질이란 싱글 셸의 설계상 요구되는 강도, 인성, 내구성 및 복공면의 마무리 마감 등의 품질에 관한 요건을 만족시키는 품질을 말한다.
- ② shotcrete 등이란, 슛크리트, 샤프콘(고유동 급경성을 갖는 현장 타설 콘크리트) 및 최종마무리를 위한 현장 타설 콘크리트를 말한다.
- ③ 슛크리트 등의 시공은 여러단계(다층)로 시공해도 좋으나, 지반과 지보층 및 각층은 일체화할 필요가 있다.
- ④ 싱글 셸과 Mono Coke은 같은 의미로서 취급한다.

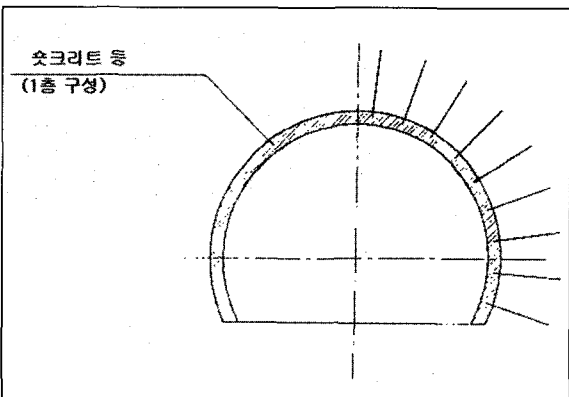
Single Shell NATM의 설계(I)



(a) Double Shell NATM (종래의 Tunnel 구조)



(b) 다층구조 싱글 셸



(c) 단층구조 싱글 셸

그림 1. Double Shell NATM과 싱글 셸 NATM

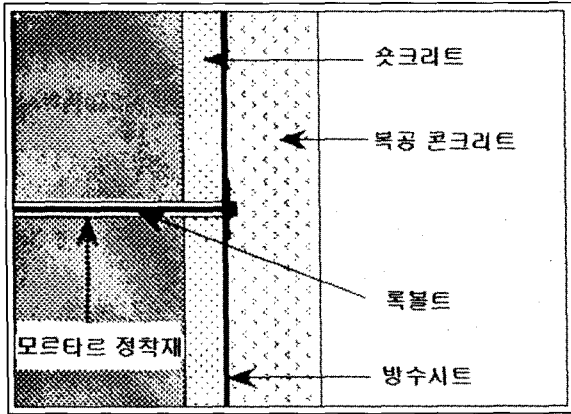
과 같은 것으로 다른 것이 아니다. 종래 NATM의 지보재료를 개선함으로써 2차 복공을 생략 또는 간략화하여, 종래의 NATM의 합리화를 도모하도록 하는 것이다. 이후로는 종래 2차 복공을 시공하는 NATM을 Double Shell NATM, 여기서 정의한 것을 싱글 셸 NATM이라 한다. 다만, 특별한 언급 없이 NATM이라고 표현된 경우에는 종래의 Double Shell NATM을 나타내며 싱글 셸 NATM은 간단히 싱글 셸 또는 싱글 셸 tunnel이라 기술하기로 한다.

종래의 Double Shell 구조의 NATM과 싱글 셸 NATM의 구성 비교를 그림 1에 나타냈다.

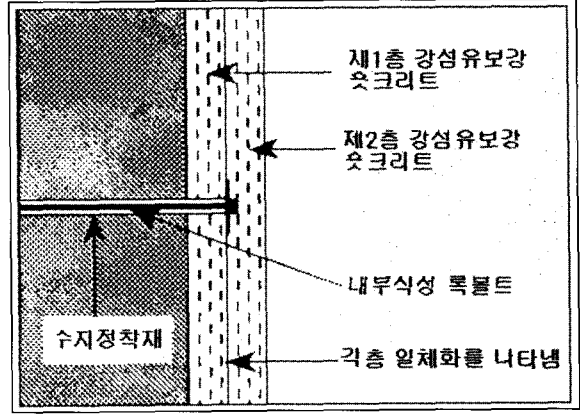
### 1.2 싱글 셸의 도입 목적

종래의 NATM 터널구조는 슛크리트, 록볼트, 강지보공 등으로 구성되는 1차복공과 거푸집을 사용하여 시공되는 2차 복공 콘크리트의 복합구조이다. 1차복공에서는 각 지보부재의 능력을 최대한으로 발휘하고 또한, 각 부재의 단점을 상호간에 보완하여 지반과 일체화한 합리적인 구조로서 터널의 안정을 확보하는 것이 목적이다. 한편, 2차복공은 tunnel의 기능과 장래의 안정을 확보하기 위하여 시공되지만 1차복공과는 방수 sheet 등의 isolation공으로 분리되며, 구조적으로는 2개의 원통형 shell이고, 역학적으로는 heavy beam과 같은 거동을 하며 2중구조 Double Shell이라고 할 수 있다. 또, 종래의 1차복공에는 내구성에 관한 기준이 없고, 록볼트나 강재지보공 등은 부식(녹)등의 시간적 열화도 있어서, 영구 구조물로 하는데는 문제가 있다. 그래서, 1차복공의 내구성을 확보하는 것으로 영구적인 구조물로의 평가가 가능하게 하고 또, 구조물로서 요구되는 안전율이 1차복공에서 확보되면, 종래의 2차복공은 생략할 가능성도 있다.

싱글 셸의 도입목적은 슛크리트와 록 볼트 등을 주요한 구성부재로 하는 종래의 지보구조를 개선하여 영구복공으로서, 지금까지의 2차복공을 간략화 또는 생략함으로



(NATM)



(싱글 셸)

그림 2. 지보구조 모식도

써 터널구간 및 터널시공의 합리화를 도모한다고 하는 것이다.

싱글 셸 구조에서는 슛크리트가 다층이 되지만, 슛크리트의 고강도화, 섬유에 의한 보강 등에 의해 고품질화를 도모하고, 휨toughness나 동결 융해 저항성의 향상 또는 급결제의 첨가량을 최소한으로 억제하여 슛크리트의 장기 내구성을 확보하고 또한 슛크리트 각층의 층간부착력을 확보함으로써 각층을 일체 구조로 하는 것이다.

이렇게 하므로써 싱글 셸은 종래의 터널구조와 동등 이상의 기능성, 내구성을 확보하는 것이 가능하게 된다. 또 후방에서 거푸집을 사용하고, 굴착작업과는 다른 단계로 시공되는 2차 복공 콘크리트가 생략됨으로서, 시공설비, 시공성도 개선된다.

이와 같이 싱글 셸은 터널의 구조 및 시공성의 양면에서 공사비의 절감을 포함한 터널건설의 종합적인 합리화를 목표로 하는 것이다.

### 1.3 NATM과 싱글 셸과의 비교

#### 1.3.1 터널지보 고품질화의 필요성

##### 1) 지보의 상이성

터널의 복공은 도로, 철도 및 수로 등의 사용목적에 적합하고 장기간에 걸쳐 토압 등의 작용하중에 견디며 균열, 변형, 붕괴 등을 일으키지 않고 누수 등에 의한 침식이나 강도의 감소 등이 적으며 내구성이 있는 것이어야 한다.

NATM에 있어서의 슛크리트 및 록볼트 등의 지보는 재료의 불균질성이나 부식 등의 불확정 요소가 있기 때문에 영구 구조물로서의 신뢰성이 확인되지 않는다.

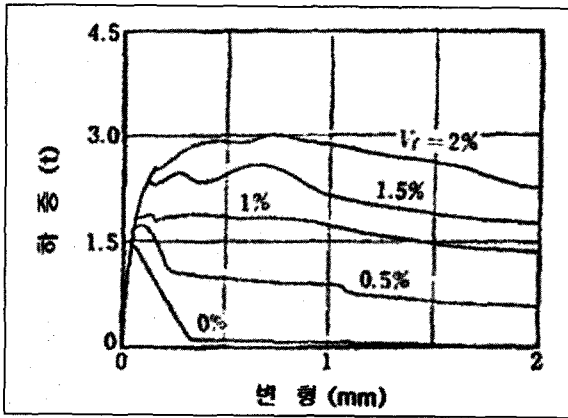
이것 때문에, 일반적으로 터널구조물로서의 최종적인 안전을 보장하는 것으로써 2차 복공이 설치되고 있다.

한편, 싱글 셸은 NATM과 같이 슛크리트 및 록볼트등을 주요한 지보부재로 하지만 부재의 고품질화를 도모함으로써, 이들 지보부재를 영구 구조물로서 NATM에서 행하는 2차 복공은 생략한다.

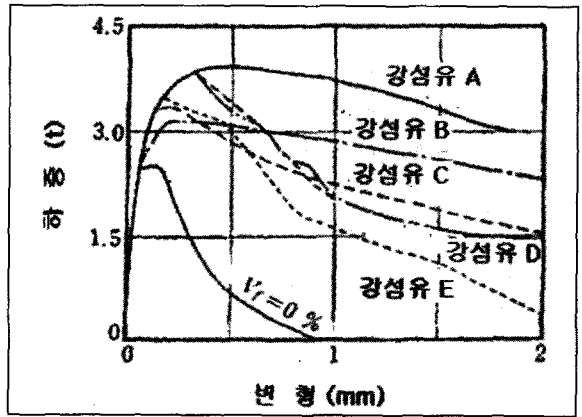
싱글 셸에 있어 지보의 고품질화를 위해서 슛크리트는 반발이 적은 고강도의 강섬유 보강 콘크리트를, 록볼트는 내부식성 록볼트 등을 채택하고, 시공에 있어서는 요구되는 품질을 만족하도록 관리하는 것이다.

##### 2) 고품질화의 필요성

싱글 셸의 록볼트는 장기 내구성이 요구되는 것으로 수지 Bolt나 방식 처리한 내부식성 록볼트의 사용을 원칙으



(a) 강섬유 혼입율에 따른 하중-변형 곡선  
(W/C=50%,  $l=30\text{mm}$ )



(b) 강섬유 종류에 따른 하중-변형곡선  
( $V_f=2\%$ ,  $l=30\text{mm}$ )

그림 3. 콘크리트 휨 Toughness

로 한다. 또, 강섬유보강 슛크리트의 필요성은 아래와 같다.

싱글 셸의 슛크리트는 지보와 복공의 기능을 갖게 할 필요가 있다. 굴착직후에 시공하는 슛크리트는 터널의 변위 수렴과정에서 변형에 따르지 못하면 균열이 발생한다. 터널이 안정되어 있으면 지보로서는 문제가 없지만 복공으로만 경우에는 기능상의 문제가 있다.

균열이 있는 무근의 얇은 구조부재는 취성파괴를 일으킬 가능성이 있어 부재내력의 저하를 피할 수 없다. 또, 누수 등에 의한 내구성의 문제가 있다. 그러므로 무근의 슛크리트는 터널복공으로서의 조건을 만족할 수 없다고 보여진다.

스�크리트를 구조부재로 하기 위해서는 그림 3에 나타난 바와 같이 강섬유보강 슛크리트를 사용하여 toughness 특성의 향상을 도모하고 균열 발생 후에도 내력이 유지 되도록 할 필요가 있다.

반발이 적은 고강도의 슛크리트를 채택할 필요성으로서 고강도 콘크리트를 사용함으로써 부재내력의 향상이 도모되고 그 결과 슛크리트 두께를 경감시킬 수 있는 이점을 들 수 있다. 반발을 적게함에 따라 시공성이 향상되고 슛크리트의 품질관리도 쉬워진다.

지금까지, 고강도의 강섬유 슛크리트에 대하여 기술하였으나, 본 슛크리트는 종래의 슛크리트에 비해 시공상 여러 종류의 요인으로 품질의 격차가 크게 되는 것으로 알려지고 있다.<sup>4)</sup> 이를 위해 시공은 세밀하고 적절한 시공 관리 하에 시행할 필요가 있다.

### 1.3.2 NATM과 싱글 셸과의 상이점

#### 1) 개요

NATM에서 시공되는 2차복공의 대부분은 무근 콘크리트로 시공되고 있다. 이것은 복공의 역학적 기능을 고려하지 않고 사용성을 목적으로 설계되기 때문이다. 통상, 표준설계 두께를 정하고 있으며 도로 및 철도(신간선) 터널에서는 30cm의 복공두께가 채택되고 있다.

현재 NATM으로 시공되는 대부분의 터널에 있어서 지질불량 개소의 터널을 제외하고 소정의 품질이 확보될 수 있는 복공에는 문제는 생기지 않는다. 그러므로 터널복공의 기능 내구성은 확보되어 있다고 보여진다.

싱글 셸은 해외에서는 많은 실적이 있고 일반적으로 알려져 있는 공법이다. 그러나 일본에 있어서는 알려지지 않은 공법이며, 싱글 셸 도입에 있어서는 복공의 기능, 내

구성을 확인할 필요가 있다.

그 판단기준으로서 싱글 셸이 NATM의 2차복공과 동등 이상의 기능, 내구성을 가지고 있다는 것을 확인하는 방법이 있다.

콘크리트의 내구성 및 내수성 기능 등에 대하여는 이후에 설명하는 것으로 하고 여기에서는 NATM 및 싱글 셸의 역학적인 복공내력에 대하여 비교하고자 한다.

## 2) 복공내력 비교

NATM에 있어서의 무근콘크리트로 시공된 2차 복공의 정량적인 평가는 아직 정해진 것이 없다. 다만, 일본 철도건설공단에 있어서의 한계상태 설계법에 기초한 무근콘크리트의 터널 복공을 대상으로 한 설계시공지침(안)이 작성되어 있다.

또, 일본도로공단은 균열을 고려하는 한계상태 설계법을 고려하여 도입하고 강섬유 보강 슛크리트의 단면내력을 산정하는 방법을 제안하고 있다.

여기에서는 상기의 산정법에 따라 무근콘크리트 및 강섬유 보강 슛크리트의 단면내력을 산출하고 두 경우를 비교하고자 한다.

표 1에 각각의 복공의 설계시공 조건을 나타낸다.

표 1. 복공조건

항목	NATM	싱글 셸
시공방법	현장타설	뿔어붙이기
사용재료	무근콘크리트	강섬유 보강 슛크리트
설계강도 (N/mm <sup>2</sup> )	18	36
복공두께(cm)	30	20

또, 무근콘크리트(t=30cm) 및 강섬유보강 슛크리트(t=20cm)의 내력도를 그림 4에 나타내었다. 또한, 같은 그림에 있어서 무근콘크리트는 콘크리트 균열을 허용하는 경우와 하지않는 경우의 두 가지의 내력에 대하여 표 시하고 있다.

Mud-N'ud곡선

무근콘크리트  $f_{ck} = 18\text{N/mm}^2$   
 강섬유 콘크리트  $f_{ck} = 36\text{N/mm}^2(V=0.75\%)$   
 재료계수  $\gamma_c = 1.3$   
 부재계수  $\gamma_b$  (휨) = 1.15,  $\gamma_b$  (압축) = 1.3

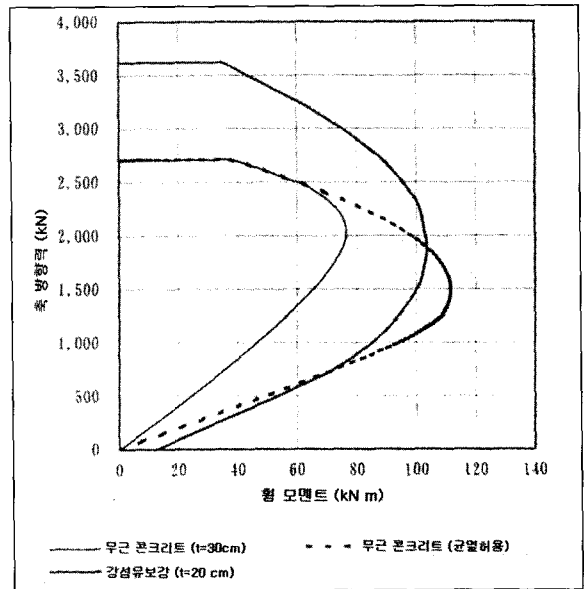


그림 4. 복공 내력도

내력곡선의 형상은

- ① 부재두께(복공두께)
- ② 콘크리트의 설계기준 강도
- ③ 보강재의 유무 및 그 종류
- ④ 보강재의 양
- ⑤ 허용 균열 깊이

등에 의해 결정된다. 또 복공내력은 내력도의 xy축 곡선에 둘러싸인 면적이 넓을수록 크다.

통상 무근콘크리트 구조물은 균열을 허용하지 않는 설계를 행한다. (부재 전단면에 압축력이 작용하고 인장력은 작용하지 않는 상태 그림 5. 좌측 그림 참조)이 경우 앞에서 서술한 복공 내력도에서 강섬유보강 슛크리트의 내력은 명확하게 무근콘크리트 보다 크다.

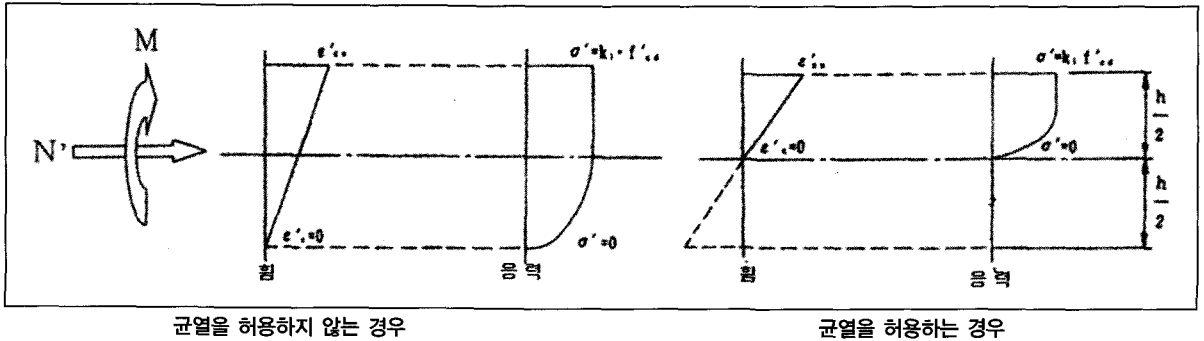


그림 5. 응력 분포

한편, 무근콘크리트 구조물에 있어서 균열을 허용한 설계를 하는 경우도 있다. 이것은 터널이 축력이 작용하는 아치 구조물이며, 복공의 일부에 균열이 생겼다고 하더라도 그 주변지반의 지반반력이 기대된다면, 복공은 구조체로서 안정하고 있다. 따라서 복공은 부재에 압축파괴가 생기지 않으면, 내하력을 잃게하는 경우는 없다고 보기 때문이다. 여기서는 상기 고찰방식에 따라 무근 콘크리트의 내력은 균열을 허용하는 경우를 고려한다. (다만, 균열의 깊이는 복공두께의 1/2로 제한한다. 그림 5. 우측그림 참조) 균열을 허용한 무근콘크리트와 강섬유보강 슛크리트의 내력곡선 형상을 비교하면 아래와 같다.

복공내력은 저축력하에서는 강섬유에 의한 인장력 향상 때문에 강섬유축이 상회하고 역으로 중축력하에서는 복공두께가 두꺼운 무근축이 상회한다. 더욱더, 고축력이 되면 압축강도가 우수한 강섬유축이 상회한다. 전체적으로 강섬유보강 슛크리트의 내력이 무근 콘크리트의 내력을 거의 상회하고 있다.

이상 강섬유보강 슛크리트의 내력은 균열을 허용하지 않은 경우는 물론, 균열을 허용하는 경우에도 무근콘크리트의 내력을 거의 상회하고 있어서 싱글 셸 복공은 NATM의 2차복공과 비교해 동등 이상의 내력을 갖고 있다고 할 수 있다.

## 2. Single Shell의 사고방식

### 2.1 Single Shell의 검토 조건

싱글 셸의 적용을 검토한 후에 기본적인 조건을 지반분류, 내공단면, 굴착공법과 굴착방식, 설계방법, 지보부재 등으로 나누어 생각하여본다.

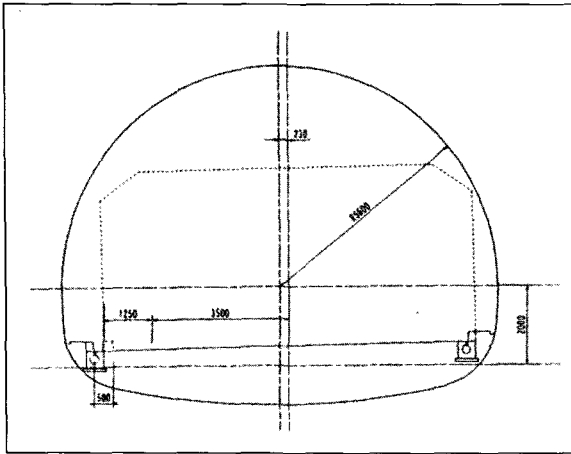
#### 2.1.1 적용 지반구분

##### 1) 대상지반

갱구부를 포함한 일련의 거의 대부분의 지반을 대상으로 싱글 셸의 적용을 검토한다. 저 토피나 안정성이 낮은 막장등 지반조건이 안좋은 경우에는 종래의 NATM과 같이 보조공법의 채택이나 시공시의 계층등에 따라 대응할 것을 전제조건으로 한다. 단, 소위 팽창성을 나타내는 퇴적연암 지반에 대해서는 본 검토 대상에서 제외하기로 한다.

##### 2) 용수조건

적용대상의 지반조건으로서 터널에 발생하는 용수의 정도는 특별히 정하지 않는다. 그러나, 슛크리트에 수압을 작용시키지 않는 것이 싱글 셸 적용의 전제조건이므로 사전에 충분한 배수처리가 필요하게 된다.



잠정 2차선터널(V-a 단면)  
그림 6.싱글 쉘 적용대상의 터널 단면

## 2.1.2 내공단면

2차선도로 터널단면을 검토 대상으로 한다.

싱글 쉘의 적용을 검토하는 터널 내공단면은 그림 6에 표시한 잠정적으로 양방향교통 운용하는 2차선도로 터널(상반내공 R=5,600) 규모로 한다.

## 2.1.3 굴착공법과 굴착방식

### 1) 굴착공법

싱글 쉘의 도입목적인 건설의 합리화를 달성하기 위해서는 보조공법 등을 적극적으로 채택하여 막장전방 지반을 개량하고 막장의 분할을 최소한으로 하며 시공의 합리화를 도모하는 것이 중요하게된다. 이를 위해 굴착공법은 보조 Bench를 포함한 전단면 굴착공법 또는 전단면 굴착공법으로 한다.

### 2) 굴착방식

거의 대부분의 지반을 대상으로 함으로 굴착방식은 발파굴착 또는 기계굴착이 된다.

## 2.1.4. 설계방법

### 1) NMT의 Q-시스템의 도입

NATM의 설계방법의 하나로써 채택되고 있는 지반의 대표적인 역학특성치(일축압축강도나 탄성파속도 등)에 의한 지반분류에 따른 설계는 2차복공을 설치하는 것을 전제로 하고 있다. 한편, 싱글 쉘은 지반과 전 복공이 일체가 된 구조를 생각하고 있으므로 지보로서의 내구성·안전성 터널로서의 안정성을 설계에서 구체적으로 표시할 수 있는 공법이 필요하게 된다. 이를 위해, NMT의 Q 시스템의 생각을 기본으로하고 용수대책으로서의 복공의 방수성을 배려한 지보설계를 시행하여 적당한 해석 또는 시공시의 계측결과에 따라 그 타당성을 검증하는 것으로 한다.

### 2) 숏크리트의 설계는 각층마다 나누어 실시

숏크리트는 각층에 따라 시공시기나 목적이 달라짐으로 설계를 나눌 필요가 있다. 또, 숏크리트의 작용효과는 지반과 숏크리트 사이 및 각 층간의 부착의 정도에 의해 다를 것이므로 충분한 부착력의 확보가 중요한 요소가 된다.

## 2.1.5 지보부재

- 1) 숏크리트는 고품질 강섬유보강 콘크리트로 한다. 숏크리트에 요구되는 품질로서는 고강도, 고인성, 고내구성, 저분진, 적은 리바운드 등이 있다. 이를 위해 철저한 품질관리에 시공되는 고품질 강섬유보강 숏크리트의 채택을 기본으로 한다.
- 2) 록볼트는 내부식성 bolt로 정착은 수지에 의한 전면정착방식으로 한다. 록볼트는 그 작용효과를 유효하게 발휘하기 위해서는 위하여 고품질화 즉 고내력, 지반의 변형에 높은 추종성, 고정착, 조기정착 등이 요구된다. 이를 위해 bolt는 내부식성 bolt, 정착은 수지에 의한 전면접착방식의 채택을 기본으로 한다.
- 3) 강지보공은 보조공법적인 위치의 지보부재로 생각하였다. 이를 위해 터널 건설의 합리화를 목표로하는 싱글

Single Shell NATM의 설계(I)

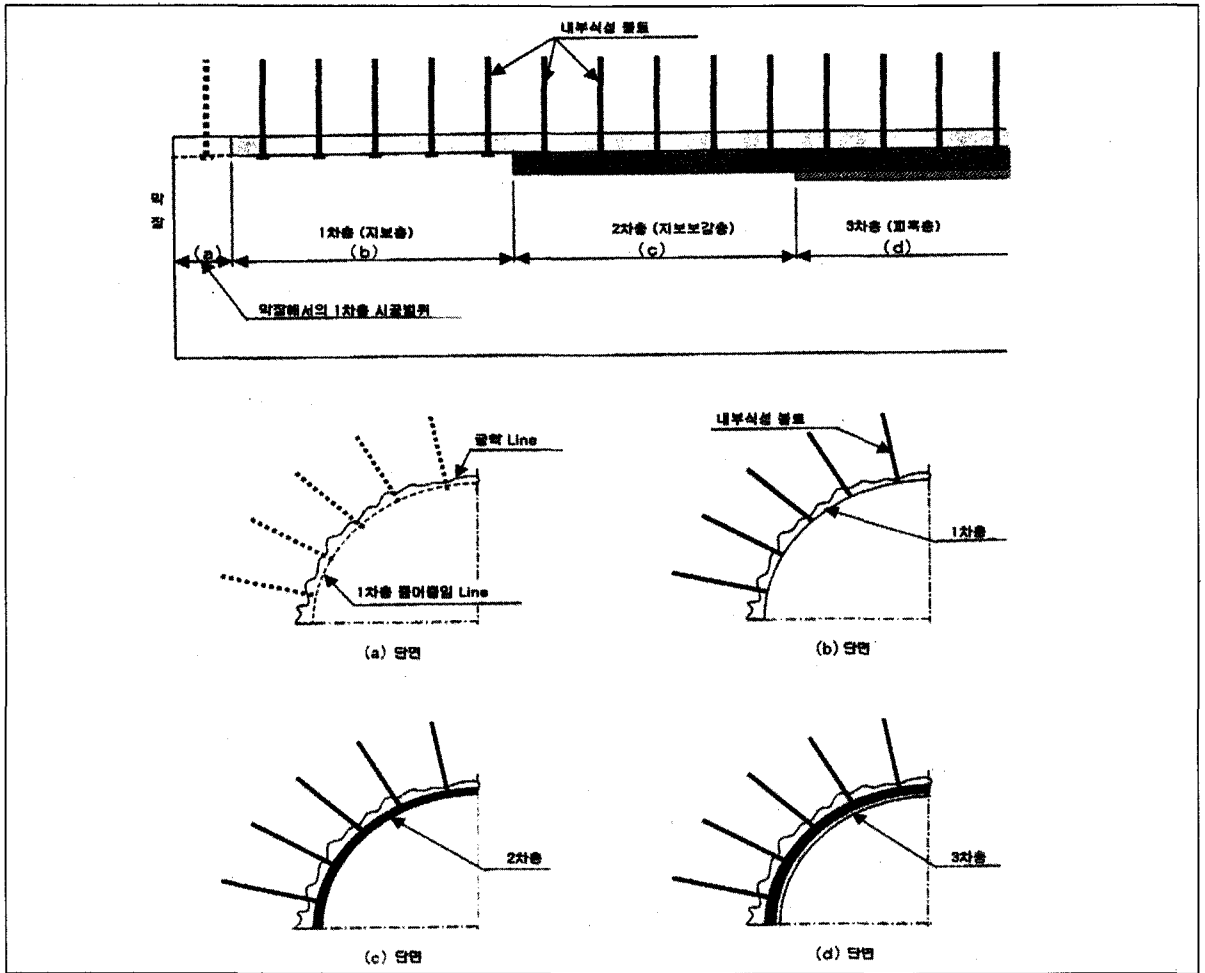


그림 7. 싱글 셸의 지보구성

셸의 주된 지보부재는 슛크리트 및 록볼트로 하고 강 지보공은 지반의 상황에 따라서 지보의 휨강성이나 강도를 증가시키기 위한 보조공법적인 위치 정도로 생각하기로 한다.

층(지보층), 2차층(지보 보강층), 3차층(피복층)의 3층 구조로 한다.

단, 지반이 양호한 경우에는 2차층까지로 3차층을 시공하지 않는 경우도 있다.

## 2.2 Single Shell의 요구기능

### 2.2.2 지보부재에 요구되는 기능

#### 2.2.1 Single Shell의 지보구성

싱글 셸의 지보구성은 그림 7에 표시한 바와 같이 1차

싱글 셸의 지보구성은 그림 7에 표시한 것과 같이 3층 구조를 기본으로 함으로각 층마다에 요구 성능을 설정하



표 2. 각종의 목적 및 적용지보의 요구 성능

		1차층 (지보층)	2차층 (지보보강층)	3차층 (피복층)
시공시기		굴착직후	막장굴착 Cycle에 영향이 없는 시기 (변위수렴 상황에 따라 유연하게 대응한다)	변위가 거의 수렴한 시기
뿔어붙임의 목적		<ol style="list-style-type: none"> <li>① 막장에서의 표면탈락이나 붕락을 막는다</li> <li>② 조기에 터널의 안정성을 확보한다</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 장기적인 지보의 안정성을 확보한다</li> <li>② 용수개소는 특별히 선정하여 대처한다.</li> <li>③ 응력집중의 완화 및 공용성을 확보하기 위해 1차지보의 요철을 없애고 평탄성을 확보한다.</li> <li>④ 1차층에 시공된 록볼트의 두부를 피복한다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 전면을 피복하고 외부환경으로부터 지보층을 보호한다.</li> <li>② 지보보강층에 발생한 균열등을 보수한다.</li> <li>③ 최종 마무리(3차층을 시공하지 않는 경우는 2차층이 최종 마무리면)</li> </ol>
적용지보와 목적	고품질 강섬유 보강 슛크리트	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 슛크리트 설계와 록볼트를 주체로 하는 지보설계가 가능하게 된다.</li> <li>② 응점강이나 강지보공 등의 설치에 필요한 시간을 단축하고, 조기에 지보한다.</li> <li>③ 절리·균열의 거동을 감섬유에 따른 전단보강 및 휨강성에 저항한다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 급결제의 사용량을 최소한도로 적게하여, 장기강도와 품질의 안정화를 도모한다</li> <li>② 물리·화학적 작용에 대해 열화가 적고, 장기간 지보기능을 유지한다</li> <li>③ 높은 방수성을 갖는다</li> <li>④ 지보강성을 높여 터널 변형의 수렴에 기여시킨다</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 급결제의 사용량을 최소한도로 적게하고 장기강도와 품질의 안정화를 도모한다.</li> <li>② 높은 방수성을 갖는다</li> </ol>
	내부식성 Bolt	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 조기에 타설하여 슛크리트와의 상호작용에 따라 지보효과를 발휘시킨다</li> <li>② 고내력의 내부식성 Bolt의 채택으로 타설간격을 넓게하고, 시공성을 향상시킨다</li> <li>③ 수지에 의한 전면 점착방식에 따라 조기에 지보효과가 기대된다</li> </ol>		
압축강도	초기강도	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 재령3시간 1.0~3.0N/mm<sup>2</sup></li> <li>② 재령1일 10.0N/mm<sup>2</sup></li> </ol>	터널이 비교적 안정한 시기에 시공하므로 높은 초기 재령강도는 필요로 하지 않는다	높은 초기 재령강도는 필요로 하지 않는다
	장기강도	36.0N/mm <sup>2</sup> 이상	36.0N/mm <sup>2</sup> 이상	36.0N/mm <sup>2</sup> 이상
휨인성 전단강도	절리·균열의 거동에 저항하기 위하여, 휨인성·전단강도의 높은 고품질 강섬유보강 S/C 로한다.			
장기내구성	물리적·화학적 작용에 대해 슛크리트 자체의 열화가 적고, 록볼트나 보강섬유의 기능이 장기간 유지할 수 있도록 보호할 기능이 필요			
부착강도	싱글 쉘의 구조적인 우위성이나 박락에 대한 저항성을 확보하기 위해 암반 및 슛크리트 각 층간의 부착강도를 높일 필요가 있다			
수밀성	터널의 기능성 확보와 콘크리트층의 성분 유출에 의한 열화방지를 위해 수밀성을 확보한다.			

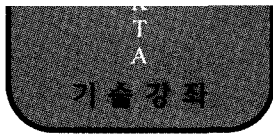


표 2. 각층의 목적 및 적용지보의 요구 성능(앞의 표 2 계속)

		1차층 (지보층)	2차층 (지보보강층)	3차층 (피복층)
시공성	시공 능력	전체 사이클에 미치는 영향이 크므로 높은 시공능력을 확보하는 것이 요구된다		
	반발율	소요품질을 확보함과 더불어 경제성 및 자원절약의 관점에서부터 반발율의 저감을 도모한다.		
	양호한 부착의 확보	양호한 부착력이 얻어지도록 굴착면이나 뿔어붙인면을 세정, 고압수세정이나 Air Flashing하여, 박리가 없게 충진성이 높은 S/C를 시공한다.		
	작업 환경의 개선	작업환경 개선의 관점에서 분진량의 저감을 도모하며 pH가 낮은 급결제를 사용함으로써 인체에 악영향을 적게 한다.		

는 것이 합리적이다. 이에 표 2에 각층의 목적과 적용지보의 요구 성능을 표시한다.

## 2.3 Single Shell 지보부재의 선택방법

### 2.3.1 고품질 강섬유보강 슛크리트

싱글 셸에 사용하는 고품질 강섬유보강 슛크리트는 종래의 콘크리트에 비하여 고강도화 및 강섬유에 의한 보강을 특징적으로 하고 있고 지보능력의 향상(고강도, 고인성, 고내구성)이나 시공능률의 향상(낮은 리바운드, 대량 뿔어붙이기, 저분진)이라는 고품질화에 따라 복공 비용저감을 목적으로 한다.

이를 위해, 고품질 강섬유보강 콘크리트에는 짧은 재령시, 장기 재령시에 있어서의 여러 가지 품질이 요구된다.

#### 1) 뿔어붙인 직후~짧은 재령시에 요구되는 품질

- 리바운드(Rebound)가 적음.
- 분진이 적음
- 지반의 초기변위에 대응.
- 암반 및 슛크리트 각층간에 충분한 부착강도를 얻을 수 있다.

##### ① 부착성(Rebound)

싱글 셸이 시공되고 있는 유럽에서는 알카리 프리의 액체급결제가 사용되어 왔다. 이것은 싱글 셸에서는 얇게 뿔어붙임을 수회에 나누어서 시공하는 것은 큰 초기강도

를 필요로 하지 않아서이다. 또, 액체급결제를 사용한 경우 텍소트로피 특성에 의해 뿔어붙인 직후의 콘크리트는 유연하고 리바운드를 감소시키는 효과가 있어서이다.

##### (성능면)

- 알카리 골재반응의 저감
- 장기강도의 손실이 거의 없다. (단, 초기강도는 낮다)
- 리바운드가 적다
- 유리석회의 용출이 없다.

##### (시공면)

- 대용량 뿔어 붙이기에 대응가능
- 계량이 정확
- 강알카리가 아니므로 작업환경이 적당.

##### ② 변형능력

짧은 재령시에 있어서는 지반에 부착한 슛크리트가 큰 지반변형에 대하여 대응하는 기능이 필요하다. 이로 인해 싱글 셸에서는 강섬유를 혼입하는 것을 전제로 하고 있다.

##### ③ 강도발현(부착강도, 전단강도)

스�크리트에 요구되는 중요한 기능중에 지반과의 부착성이 있다. 짧은 재령시에는 장기재령과 같이 주변지반 전체를 지보하는게 아니고 굴착직후에 있어서의 단면 근처의 key block이 빠져 떨어지는 것에 저항하는 전단강도와 그를 위한 지반과의 부착강도를 필요하게 된다.

또, 지반과의 부착강도에 대해서는 초기강도가 작은 굳지 않은 콘크리트 쪽이 크기 때문에 thixotropy 특성을 갖는 액체급결제를 사용한 슛크리트가 유리하다고 생각

된다.

또, 고품질 강섬유보강 슛크리트는 재료단가가 높고 리바운드를 작게 함으로서 리바운드가 크고 실리카흙을 사용하여도 경제적이 된다고 생각되어지기 때문에 적극적으로 채택하는 것이 바람직하다.

### 2) 장기 재령시에 요구되는 품질

싱글 쉘의 지보 부재로서의 슛크리트는 지보와 복공 양쪽의 기능을 갖게 할 필요가 있다. 따라서, 사용되는 고품질 강섬유보강 슛크리트가 장기 재령시에 요구되는 품질로서는

- 지반 및 슛크리트 및 층간의 부착이충분히 이루어진다
- 충분한 강도를 갖는다
- 휨, 전단하중에 관하여 저항할 수 있고, 균열이 생겨도 인성이 높고 터널구조체의 안정성이 높다
- 장기 내구성이 우수하다

#### ① 강섬유의 첨가에 의한 인성

싱글 쉘에서 사용하는 슛크리트에 요구되는 품질로서는 고강도, 고인성, 고내구성, 저분진, 저 리바운드 등의 고품질을 들 수 있다. 이를 위해, 고강도 슛크리트와 강섬유보강 슛크리트의 기능을 같이 갖으며, 철저한 품질관리 하에 시공 되는 고품질 강섬유보강 슛크리트의 채택이 기본으로 된다.

#### ② 방수성(두번째층 이상)

싱글 쉘에서는 2차 복공이 시공되지 않으므로 두 번째 층 이상에 대해서는 방수성이 높은 슛크리트가 요구된다. 두 번째 층 이상의 복공은 기본적으로 터널이 거의 수렴 상태, 또는 수렴후에 시공이 됨으로, 최소한도로 급결제를 감하고, 균열의 발생을 방지하기 위하여 강섬유를 첨가한다.

#### ③ 내구성

표 3에 주요 급결제의 종류와 이것을 사용한 슛크리트의 내구성의 관계에 대하여 나타냈다. 알카리 Free 액체

표 3. 급결제와 내구성에 대하여

급결제 종류	내구성 지표			
	동결 용해	중성화	알카리 골재 반응	수밀성
Cement 광물계	○	◎	×	○
칼슘살호 알루미네이트계	○	◎	○	○
무기염계	△	○	×	△
알카리 Free계	○	○	○	○

급결제는 장기 내구성에 대해서도 문제가 없는 것으로 보여진다.

또, 슛크리트의 내구성을 좌우하는 요인은 사용재료, 설계, 시공, 환경의 모두가 관계함으로 충분히 검토할 필요가 있다.

### 3) 품질을 확보하기 위한 시공상의 유의점

지금까지의 뿔어붙이기 작업에 비해 싱글 쉘의 고품질 강섬유보강 슛크리트에서는 기술자의 지식과 기술을 향상시키는 것이 품질관리상 불가결하였다. 여기서는 아래에 시공상 유의점에 대하여 기술한다.

#### ① 급결제 첨가량

급결제 첨가량의 관리는 품질관리상의 제일 중요한 문제이다. 시공시의 품질관리로써 급결제의 많고 적음이 품질에 어떠한 영향을 미치는가를 이해시킨 후에 적절한 첨가량 범위와 관리 방법을 기술자에 이해시키는 것이 중요하다.

#### ② 부착의 확보

싱글 쉘에 있어서는 지반과 뿔어붙임 앞층과의 충분한 부착을 확보하는 것이 중요하며, 뿔어붙이기전에 고압수 분사 등에 의해 압반이나 뿔어붙일 표면을 세정하는 것이 중요하다.

#### ③ 시공 이음매의 처리

뿔어붙이기는 2회 이상 중복하여 뿔어붙이기로 하고, 타설 이음매가 지그재그가 되도록 뿔어 붙이기할 필요가

있다.

④ 용수 처리

싱글 셸에서는 기본적으로 수압이 걸리지 않게 하기 위해 수발공을 설치한다. 따라서, 2층 이상에서는, 싱글 셸 구조의 기능면 (방수, 미관)에서 확실한 용수처리(도수공)가 필요하다.

2.3.2 록볼트

1) 록볼트의 효과

NATM에서는 계획적으로 록볼트를 배치하는데 따라 주변에 형성되는 링(Ring)상의 토압영역을 보강하고, 하중의 분담효과를 보다 좋게 함과 더불어 지반개량 효과도 갖게 하고 있다. 이와 같은 록볼트의 효과는 장기적으로는 부식에 의해, 그 기능을 다하게 되는 경우도 생각할 수 있다. 싱글 셸에서는 록볼트의 효과를 장기간에 미치도록 지속시키기 위해, 내식성의 록볼트를 채택할 필요가 있다.

2) 록볼트의 사양

유럽의 싱글 셸 시공에 있어 사용되고 있는 glass fiber 소재의 고내력 FRP bolt를 대상 bolt로서 고려하고 있지만, 싱글 셸에 사용하는 록볼트의 조건은, 아래와 같다.

- ① 지반과 록볼트의 강성차가 적은 재질일 것. 이것에 따라, 지반의 터널 주변부에서의 응력집중을 억제하고 이완을 작게한다. 또, 지반이 변형했을때 또는 급격한 붕락 등이 생길때 록볼트가 그 변형을 충분히 추종할 수 있다.
- ② 록볼트와 지반의 부착력이 충분한 것.
- ③ 장기적으로 재질의 열화가 없는 것.

3) 정착재의 사양

Single Shell에서의 록볼트 정착재는, 수지정착재를 생각한다. bolt의 고내력과의 set에 의해 bolt pitch를 선

정하고 있다. 또, 수지 bolt 소재는 전단에 약하지만, 수지정착재와의 일체화에 의해 보완된다고 생각된다. FRP bolt의 경우에는 전부일체로 판단하고 있으며, 정착재가 강재 bolt와 같은 재질이라도 양호하다.

2.3.3 강지보공

1) Single Shell에 있어서 강지보공의 필요성

싱글 셸의 지보설계는, 슛크리트와 록볼트 부재 주체의 지보이며 양부재의 상호작용에 의한 지보효과를 기대하는 것이다. 그러나, 막장의 자립성이 낮아, 층리 절리가 발달한 지반, 토압이 큰 지반등의 지반이 나쁜 경우에는 휨 보강부재로서 강지보공의 채택을 고려할 필요가 있다. 싱글 셸에서의 강지보공의 조건은, 아래와 같다.

- ① 설치한 강지보공 주위의 슛크리트의 충전성이 좋고 슛크리트와 일체가 되어 휨 보강부재의 기능을 충분히 하게 할 것.
- ② 전단면에서의 시공이 가능하며 강지보공이 설치 될 수 있을 것
- ③ 지반, 슛크리트의 변형에 추종하여 근입시의 휨 비틀림 등의 변형이 없을 것
- ④ 작업의 안전성이 높을 것.

NMT에서는, 슛크리트의 강성을 올리거나휨 강성 혹은 휨 모멘트를 보강하는 것으로 RRS (Rib Reinforced Shotcrete : 보강리브가 붙은 강섬유보강 콘크리트)을 사용하고 있다. RRS의 설계·시공상의 고려는 다음과 같다.

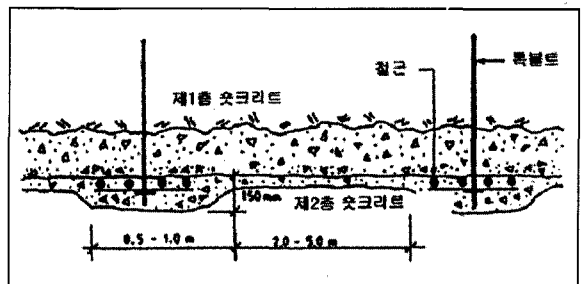


그림 8. RRS 개략도

표 4. 각 강지보공의 싱글 셸의 적합성

	H형강 종래강	H형강 고규격강	U형강	Lattice Girder	RRS
강재의 휨강성	크다	크다	크다	단독으로는 약간 작다	단독으로는 작다
숏크리트와의 충진성	지보공의 배면등의 충진성이 나쁘다	박육화에 따라 종래 보다는 충진성은 좋다	배면에의 충진성은 좋다	좋다	대단히 좋다
숏크리트와의 부착성	강재와 콘크리트와의 부착성은 낮다	강재와 콘크리트와의 부착성은 낮다	강재와 콘크리트와의 부착성은 낮다	이형봉강을 사용하므 로 부착성은 높다	이형봉강을 사용하므 로 부착성은 높다
전단면지보의 적용성	어렵다	종래강 보다는 용이	어렵다	약간 용이	용이
근입시의 시공성	약간 용이	경량화에 따라 용이	약간 용이	용이	약간곤란
근입시의 안전성	중량물이며, 약간 안 전성이 낮다	경량화에 따라 종래강 보다는 안전성은 높다	중량물이며, 약간 안 전성이 낮다	비교적 경량이므로, 안전성은 약간 높다	경량이므로 안전성은 높다
강재비, 가공비	강재비가 비싸다	강재비가 비싸다	강재비가 비싸다	강재비가 비싸다	강재비, 가공비 모두 싸다
싱글 셸에의 적합성	숏크리트의 충진, 부 착성이 낮다 중량물이므로 전단면 지보에서의 적용이 곤란하며, 안전성도 문제가 있다	Shoterret의 충진, 부 착성이 낮지만, 종래 강에 비하여 경량이므 로, 전단면 지보에의 적용성, 시공성, 안전 성이 우수하다	숏크리트의 충진성은 중지만, 부착성이 낮 다	숏크리트의 충진성, 부착성이 좋으므로 싱 글 셸의 적합성은 좋 다. 시공성은 가장 우 수하다	숏크리트의 충진, 부 착성이 좋다. 또 경량이므로, 전단 면 지보에의 적용이 용이하다. 싱글 셸에 의 적합성은 높다

- RRS는 지반이 나쁜 경우에 설치하고, 휨 보강부재로서 취급한다.
- 록볼트와 리브 보강이 숏크리트로 일체화 되어 강성이 높은 지보구조를 지반에 직접 부가하는 방법임으로, 그 지보효과는 크다고 보아진다.
- 체측결과나 지반거동의 관찰에 의해, 두께나 빈도(설치간격)를 필요에 따라서 증가할 수가 있다. 터널구조물의 고품질화를 목표로 하고 있는 싱글 셸에서는 이 RRS를 사용하는 것을 제안한다.

## 2) 강지보공의 사양

강지보공의 종류에는, 종래의 NATM에서 많이 사용되고 있는 H형강 외에 U형강, lattice girder(철근지보공) 등이 있다.

또, RRS(보강리브가 붙은 강섬유보강 콘크리트)도 숏크리트, 록볼트와의 일체성에 우수한 공법으로서 기대된다. 표 4에 각 강지보공의 싱글 셸의 적합성에 대하여 비교한다. 종합적으로 RRS가 숏크리트와의 일체성, 안전성에 우수하며, 싱글 셸에의 적합성이 높다.

## 참고문헌

- 1) 土木學會, トンネル標準示方書 山岳工法編・同席編, pp91, 1996.7
- 2) 日本道路公團, 設計要領第三集 トンネル, pp111~114, 1997.10
- 3) 土木學會, 鋼筋鉄骨補強コンクリート設計施工指針, pp72, 1983.3
- 4) Geo-Front研究會, シングルシェル適用に関する検討報告書, pp84, 1997.11

- 5) 日本鐵道建設公團, 併進工法設計施工指針(案) 都市トンネル編, pp70, pp68~69, 1992.4
- 6) 三谷他, 纖維補強吹付コンクリートの仕様と設計手法に関する検討, 日本道路公團試験所 研究報告書 Vol.35, pp56-63, 1998. 11
- 7) 土木學會, コンクリート標準示方書 設計編, pp23~24, 1996.3
- 8) 日本トンネル技術協會, トンネル覆工に関する調査研究報告書(日本道路公團委託), pp16, 1999
- 9) 設計要領 第三集 トンネル本體工の一部改定について, 日本道路公團, 1999年 5月 通知
- 10) 第二東名 名神高速道路トンネル暫定設計指針(案), 日本道路公團, 1999. 7
- 11) 纖維補強吹付コンクリート仕様と設計方法に関する検討, 日本道路公團 試験研究報告, 1998. 5
- 12) 龜裂性巖盤における吹付けコンクリートの設計: 決定論的 Approachに向けて, S. V. L. Barrett and D. R. McCreath : Tunnelling & Underground Space Technology Vol. 10. No. 1. 1995. 1.
- 13) トンネルの吹付けコンクリート, 日本トンネル協會, 1996. 2
- 14) 第二東名・名神高速道路名神高速道路トンネル暫定設計指針(案), 日本道路公團, p51, 1999. 7
- 15) 池田謙太郎, 島謙藏, 西本 敬: 新しいFRPロックボルトの開発とその特性, 土木學會第43回年次 學術講演會概要集(昭和63年10月), VI-65 pp158-159
- 16) 山本信幸, 平井正雄, 中田雅夫, 山地 志: 繊維状 FRPロックボルトの特性について, 土木學會第44回年次學術講演會概要集(平成元年 10月), VI-49 pp146-147
- 17) 吉塚 守, 三谷活二, 城間導通: 高耐力ロックボルトの引抜特性に関する研究, トンネル工學研究論文・報告集 第八卷 1988年 11月, 187-192pp
- 18) 吹付けコンクリート 適用に関する 検討報告書, ジエオフロンテ研究會, 1997. 11. 28
- 19) 吹付けコンクリート 分科會セミナー報告書, ジエオフロンテ研究會, 1997. 11. 28
- 20) シングル・シェル 覆工(モノコック構造), ジエオフロンテ研究會, 1999. 4. 1
- 21) トンネル標準示方書 [山岳工法編・同解説], 土木學會, 平成 8年 7月
- 22) 第二東名・名神高速道路トンネル設計指針(案): 日本道路公團, 1999年