

숫자와 그림으로 보는 터널이야기

- 제2강 NATM 터널 -

(Trends and Changes of NATM Tunnelling)

김영근 | (주)건화 지반터널부 부사장, 한국터널지하공간학회 부회장, 공학박사, 기술사

NATM 터널은 1960년대 개발된 이후로 세계적으로 가장 많이 적용되는 터널링 기술로서 숏크리트와 록볼트를 주지보로 사용하는 터널 공법이다. 현재는 NATM 터널기술이 지속적으로 발전하여 TBM 공법이 적용되지 않은 모든 터널공사에서 적용되는 가장 일반적인 공법이 되었다. [표 1]에는 NATM 터널 기술의 특성과 기술 트렌드를 10가지 키워드로 정리하였다. 본 고에서는 10가지 키워드를 중심으로 NATM 터널기술의 주요 특징에 대하여 기술하였다.

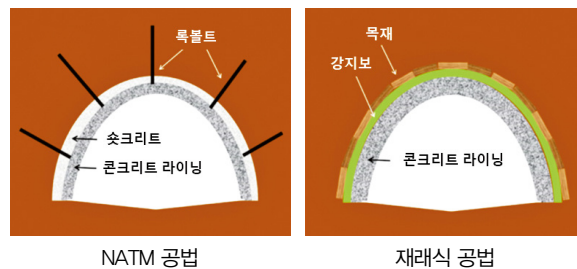
[표 1] NATM 터널의 기술 발전과 트렌드

	Key Word	As-is	To-Be
1	NATM공법과 재래식 공법	주로 암반에 적용	모든 지반에 적용
2	대단면화와 초대단면 터널	단면크기 제한	대단면/대공간화
3	전단면 굴착과 분할 굴착	상하반 굴착	다분할굴착/대형화
4	다양한 단면과 특수 단면	마세형/아치형	대형화/다기능화
5	장대화와 초장대 터널	단터널 위주	대심도/초장대화
6	발파 굴착과 기계 굴착	발파 진동/소음	고성능 로드헤더
7	NATM 시공과 1사이클	인력/소형	기계화/대형장비화
8	주지보와 보조공법	숏크리트+록볼트	주지보+보조공법
9	숏크리트와 콘크리트 라이닝	1차 및 2차 라이닝	고성능/고강도 라이닝
10	NATM의 다른 이름들	NATM	SCL, SEM, NMT

1. NATM 공법과 재래식 공법

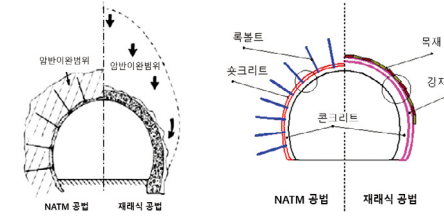
재래식 공법은 암반을 굴착한후 강지보를 세우고 암반과 강지보 사이를 목재로 끼우는 방법이다. 이에 비하여 NATM 공법은 암반 굴착후 숏크리트와 록볼트를 타설하는 방법으로, [그림 1]에는 NATM 공법과 재래식 공법을 비교가 나타나 있다. 두공법 모두 최종적으로 콘크리트 라이닝을 시공한다.

[그림 1] NATM 공법과 재래식 공법



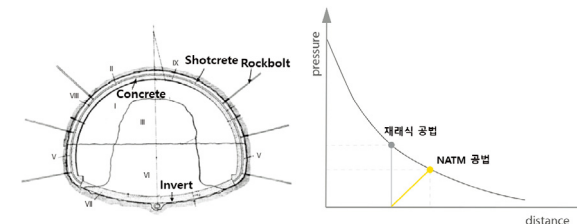
재래식 공법은 암반과 강지보 사이가 틈이 밀실하게 채워지지 못해 암반이완(loosening)이 지속적으로 발생하여 암반이완범위가 크게 증가하나, NATM 공법은 굴착이후 가능한 빨리 숏크리트를 타설함으로써 암반이완을 최소화함으로써 기존 재래식 공법에 비해 지보량을 최소화할 수 있다(그림 2).

[그림 2] NATM 공법과 재래식 공법의 비교



NATM 공법은 지반이완을 최소화하기 위하여 숏크리트를 타설하고 록볼트와 함께 복합지보구조를 형성하는 공법으로, 재래식 공법과는 달리 인버트(invert)를 타설하여 링폐합(ring closure)구조를 형성하여 터널의 안정성을 최대한으로 확보하는 공법이다. 특히 지반이 불량한 경우에는 반드시 인버트(바닥부)에 숏크리트 및 콘크리트 라이닝을 타설하여 장기적인 안정성을 확보하여야 한다. [그림 3]에는 NATM의 개발자인 Rabcewicz가 1964년에 제시한 NATM 개념이 나타나 있다.

[그림 3] NATM 공법의 개념

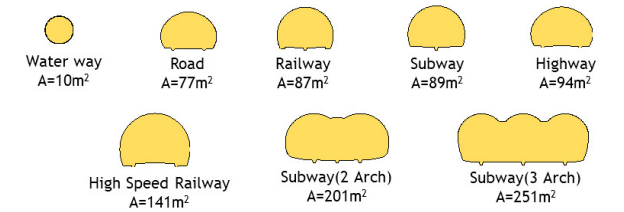


2. 대단면화와 초대단면 터널

NATM 터널의 가장 큰 장점은 터널 용도에 맞게 터널 단면의 형상과 크기를 크게 할 수 있다는 것이다. [그림 4]는 단면이 작은 수로터널부터 단면이 매우 큰 지하철터널까지 다양한 크기의 터널 단면을 보여주고 있으며, 터널 굴착기술과 터널 기능특성에 따라 터널 단면이 점차적으로

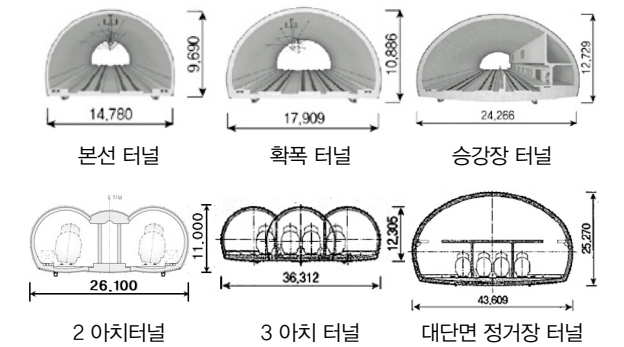
로 대단면화되고 있다.

[그림 4] NATM 터널 단면 크기 비교



철도 터널의 경우 본선 터널을 기본으로 확폭 터널, 승강장 터널, 20치 터널, 30치 터널, 정거장 터널 등 다양한 형상의 터널로 구성된다. [그림 5]에는 철도터널에서의 다양한 터널 단면 크기를 비교하여 나타낸 것으로, 지하 정거장 터널은 폭 43m, 높이 25m, 굴착단면적 500m² 이상의 초대단면 터널로 계획되고 있다.

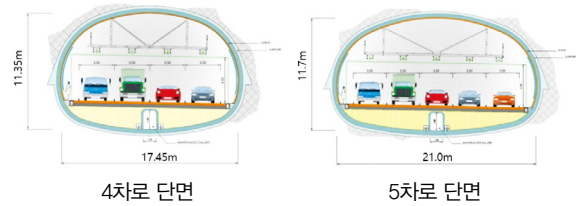
[그림 5] 철도 터널 단면 비교



도로 터널의 경우 2차로 단면을 기본으로 3차로 단면, 3차로 확폭 단면, 4차로 단면, 5차로 단면까지 다양한 터널로 구성된다. [그림 6]에는 도로터널에서의 다양한 터널 단면 크기를 비교하여 나타낸 것으로, 5차로 단면은 폭 21m, 높이 11.7m, 굴착단면적 200m² 이상의 대단면 터널로 계획되고 있다.

[그림 6] 도로 터널 단면 비교

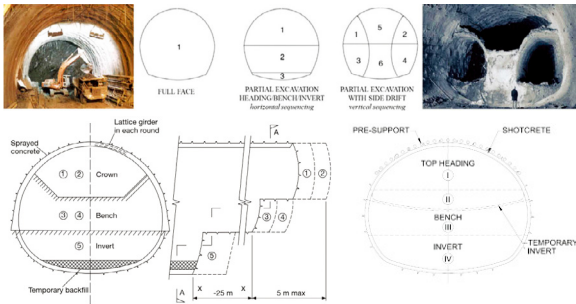




3. 전단면 굴착과 분할 굴착

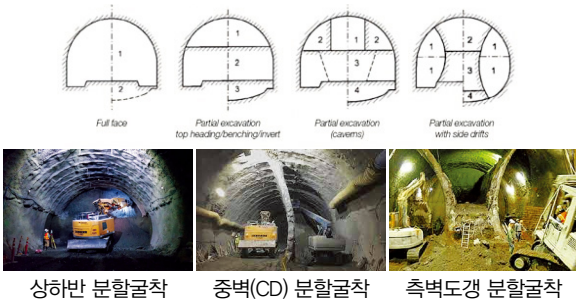
NATM 공법은 암반상태에 따라 지보를 차등적용하고, 굴착방법도 달라지게 된다. 암반이 양호하면 전단면 굴착을, 암반이 불량하게 되면 분할 굴착을 적용하게 된다. [그림 7]에는 NATM 공법에서의 분할굴착 방법이 나타나 있다.

[그림 7] NATM 공법에서의 분할 굴착



NATM 공법에서의 분할굴착은 상하반 분할굴착을 기본으로 중벽(central diaphragm, CD)분할굴착과 측벽도강(side drift) 분할굴착이 많이 적용되고 있으며(그림 8), 터널 단면 크기와 지반조건에 따라 보다 세분하여 굴착한다.

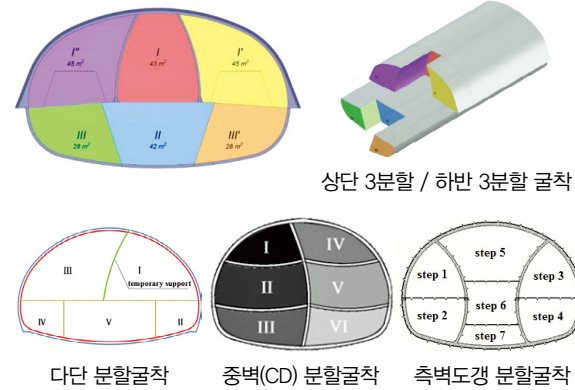
[그림 8] NATM 터널의 분할굴착



터널이 대단면화됨에 따라 대단면 터널의 설계 및 시공이 증가하고 있다. 대단면 터널의 경우 불가피하게 분할굴착을 적용하게 되며, [그림 9]에서 보는 바와 같이 상반과 하

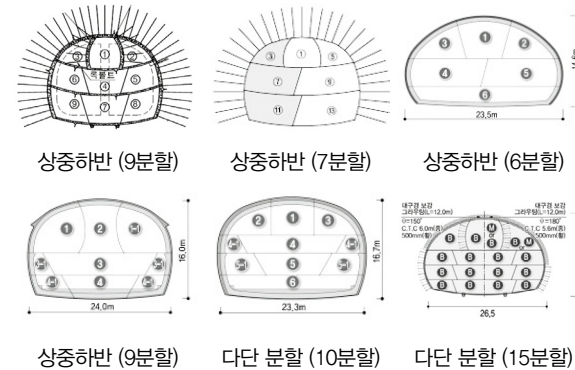
반을 분할굴착하거나, 중벽분할의 좌우터널을 다시 분할 굴착하거나, 측벽도강 및 중앙터널을 분할굴착하는 방법을 적용한다.

[그림 9] NATM 터널의 분할굴착



[그림 10]은 국내에 적용된 대단면 터널에서의 분할굴착 단면을 나타낸 것이다. 국내의 경우 시공성 등으로 인하여 상중하반의 다단분할굴착을 선호하며, 정거장 터널의 경우 4단의 최대 15분할 굴착을 적용한 사례로 있다.

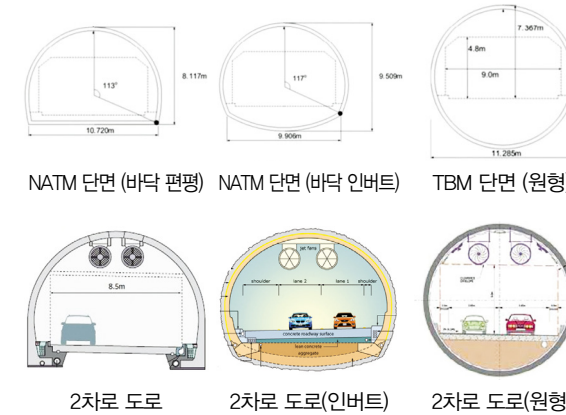
[그림 10] 대단면 터널의 분할 굴착



4. 다양한 단면과 특수 단면

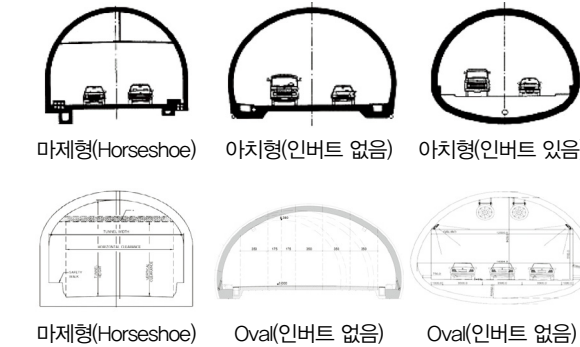
NATM 터널은 다양한 터널 단면으로 굴착이 가능하다는 장점을 가진다. 현재 NATM 터널은 아치형 단면을 기본으로 바닥이 편평한 경우와 바닥이 인버트를 가지는 단면으로 구분된다. [그림 11]에는 NATM 단면과 TBM 단면의 비교가 나타나 있으며, 원형인 TBM 단면은 하부에 사공간이 발생하게 된다.

[그림 11] NATM 터널 단면과 TBM 터널 단면 비교



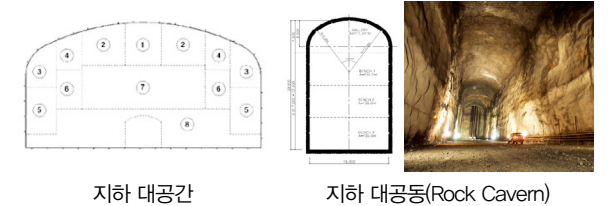
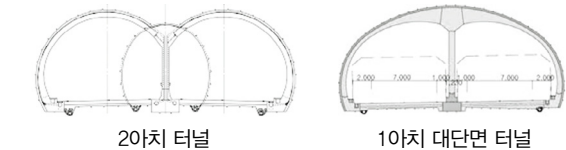
NATM 단면은 측벽이 직선이 마제형 단면에서 곡선인 아치형으로 변화하고 있으며, 터널 기능이 다양해지고 차선이 증가함에 따라 [그림 12]에서 보는 바와 같이 터널 폭이 높이에 비해 큰 타원형(oval)의 단면도 있다.

[그림 12] 다양한 터널 단면 형상



NATM 터널 폭이 증가함에 따라 10차 대단면 터널과 중앙에 기둥을 설치하는 20차 또는 30차 터널의 단면형태도 볼 수 있다. 또한 지하공간과 경우에는 [그림 13]에서 보는 바와 같이 단면의 형태를 목적에 따라 다양하게 계획할 수 있으며, 지하유류비축기지의 경우 터널의 높이가 폭에 비해 매우 큰 단면형태를 가진다.

[그림 13] 다양한 터널 단면 형상



5. 장대화와 초장대터널

터널 기술이 발전하고 터널 기능이 다양해짐에 따라 터널 연장이 점점 길어지는 장대화 경향이 나타나고 있다. [표 2]에는 장대 터널에 대한 정의로서 설계기준, 방재 개념 그리고 통상적 개념으로 구분할 수 있으며, 수십 km에 이르는 초장대터널도 분류하였다.

[표 2] 장대 터널의 기준

구분	짧은 터널	터널	장대 터널	초장대 터널
설계기준	1km 이하	—	1~5 km	5km 이상
방재 개념	0.5~1km	—	1~15km	15km 이상
통상적 개념	도로	1km 이하	1~4km	4~10km
	철도	1km 이하	1~5km	5~20km

세계적으로는 고타르트 베이스 터널이 57km로 세계 최장대 터널이며, 계속적으로 50km 이상 최장대 터널이 건설되고 있다(표 3). 국내의 경우 SRT 구간의 율현터널이 50.3km로 국내 최장대 터널이며, 세계 4위의 초장대 터널이다. 또한 현재 수도권급행철도 GTX-A가 대심도 터널로 시공중에 있다(표 4).

[표 3] 세계의 초장대 터널

터널명	터널 연장	터널 용도	비고
고타르트 베이스 터널	57.0km	철도	세계 최장대 (스위스-이탈리아)
브레너 베이스 터널	55.4km	철도	오스트리아-이탈리아
세이칸 터널	53.9km	철도	해저터널 (일본)
유로 터널	50.0km	철도	해저터널 (영국-프랑스)

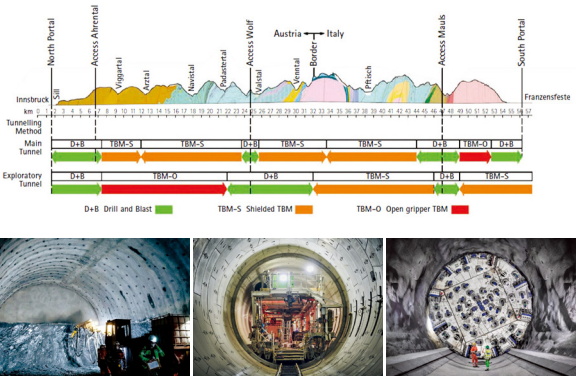
터널명	터널 연장	터널 용도	비고
레드달 터널	24.5km	도로	세계 최장대 도로 (노르웨이)
아마테 터널	18.5km	고속도로	세계 최장대 고속도로 (일본)

[표 4] 한국의 장대 터널

터널명	터널 연장	터널 용도	비고
울현 터널	50.3km	고속철도	국내 최장대 (복선)
대관령 터널	21.74km	철도	복선 터널
금정 터널	20.26km	고속철도	복선 터널
솔안 터널	16.24km	일반철도	단선 터널
인제 터널	10.96km	고속도로	국내 최장대 도로
서부 간선지하터널	10.33km	도심지 지하도로	대심도 터널
GTX-A 터널	42.689km	급행철도	대심도 터널 (시공중)

장대 터널의 경우 굴착공법으로서 NATM 공법과 TBM 공법 둘 다 적용할 수 있으며, 일반적으로 터널 연장이 긴 경우 TBM 공법이 유리한 것으로 알려져 있다. [그림 14]는 터널 연장 55.4km인 Brener 터널에 적용된 터널공법으로 NATM (D+B Drill and Blast)과 TBM 공법(쉴드 TBM과 오픈 그리퍼 TBM)이 암반 특성 및 현장 여건에 따라 적용되었다.

[그림 14] Brener 터널에서의 터널 공법 (NATM+TBM)

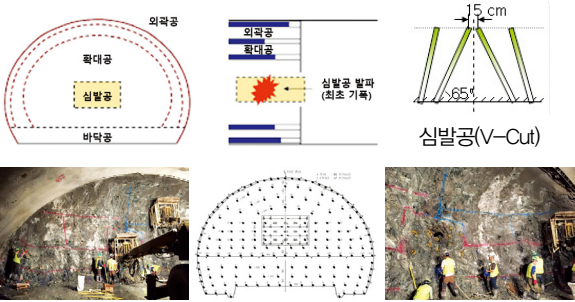


6. 발파 굴착과 기계 굴착

터널을 굴착하기 위해서 수행되는 발파(drill and blasting)는 1자유면 발파이기 때문에 심발부 발파가 선행되어야 하

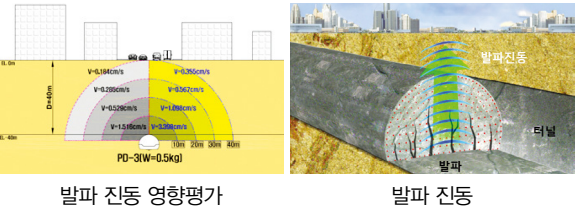
며, 암반상태에 따라 1발파당 굴진장을 다양하게 달리할 수 있다. 터널발파는 [그림 15]에서 보는 바와 같이 암반상태에 따라 장약량을 달리하는 발파패턴을 적용하고, 주변에 보안물건(건물 및 축사 등)에 따라 장약량을 조절하고 조절발파(controlled blasting)를 실시하여야 한다.

[그림 15] NATM 공법에서의 발파굴착과 발파패턴



[그림 16]에서 보는 바와 같이 발파굴착은 필연적으로 진동과 소음을 발생하게 되고, 이에 따라 민원 및 환경 문제 등이 발생하는 경우가 많으므로 이에 대한 적절한 대책(진동제어발파 및 미진동/무진동 공법 적용)을 반영하여야 한다.

[그림 16] 터널 발파 영향과 진동소음 문제



도심지 터널공사에서의 발파진동문제를 해결하기 위하여 최근 도입된 굴착공법이 바로 로드헤더(Roadheader)를 이용한 기계굴착이다. [그림 17]에서 보는 바와 같이 경암

[그림 17] 로드헤더 기계굴착



반(hard rock)에도 적용이 가능한 고성능 로드헤더가 개발되었으며, 호주, 캐나다와 같은 선진국에서는 도심지 터널 굴착공법으로 많이 적용되고 있다. [표 5]에는 발파공법과 로드헤더 기계굴착공법의 비교가 나타나 있으며, 로드헤더 기계굴착공법은 진동소음이 적고 굴착면이 양호한 장점을 가지고 있다.

[표 5] 발파공법과 로드헤더 기계굴착공법의 비교

터널공법	NATM	
굴착 공법	발파 굴착 (Drill and Blast)	로드헤더 기계굴착 (Roadheader)
개요	발파를 이용하여 막장면을 굴착한 후 슛크리트와 록볼트를 이용하여 지보를 설치하는 공법	로드헤더 등을 이용하여 막장면을 굴착한 후 슛크리트와 록볼트를 이용하여 지보를 설치하는 공법
도심지 터널	특징	• 안정성 취약 : 빌딩 하부통과, 지장물과의 간섭, 기존 구조물과의 근접 시공 • 환경성 민감:주민과 생활 시설물에 진동, 소음, 먼지, 지하수위 등 • 시공성 불량 : 공사부지 협소, 자재 및 장비 운반의 한계 등
	장점	• 시공성 우수(분할굴착/ 다양한 단면형상) • 기술경험 풍부 • 지질/지반 대응성 우수 • 상대적으로 공사비 저렴
	단점	• 발파진동 및 소음 문제 • 발파불가구간 공사비 증가 • 도심지구간 제한성 큼 • 대규모 민원 발생
	이슈	• 발파민원 문제에 대한 기술적/사회환경적 대응대책

7. NATM 시공과 1사이클

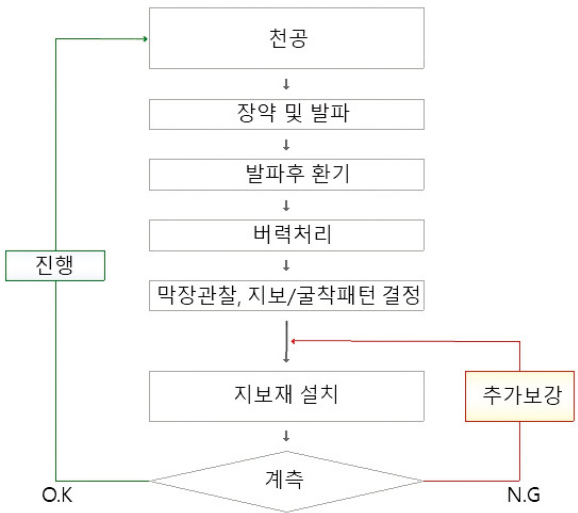
발파 굴착을 적용하는 NATM 터널은 굴착(천공-장약-발파-버력처리)과 지보설치의 과정을 반복적으로 수행하게 되며, 이를 1사이클(cycle)이라고 한다. [그림 18]은 NATM 터널의 시공순서가 나타나 있으며, 암반상태에 따른 굴착 및 지보 패턴에 따라 시공 프로세스가 결정된다.

[그림 18] NATM 공법 시공순서



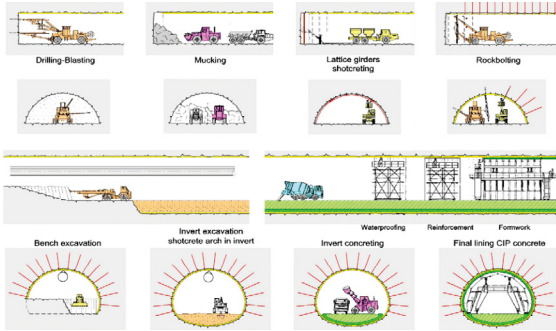
[그림 19]는 NATM 터널의 시공 프로세스를 나타낸 것으로 막장관찰 결과에 의한 암반상태에 따라 지보설치하게 되고, 계측모니터링을 통하여 추가보강 여부를 결정하게 된다. 이를 관찰적 접근법(observational approach)이라고 하고, NATM 공법의 중요한 원칙이다.

[그림 19] NATM Sequence



[그림 20]에는 NATM 터널의 시공과정이 나타나 있다. 상하반 굴착(천공-발파-버력처리)과 지보(숏크리트+록볼트+강지보재) 설치이후 현장타설 콘크리트 라이닝을 타설하게 되면 최종 터널구조물이 만들어지게 된다.

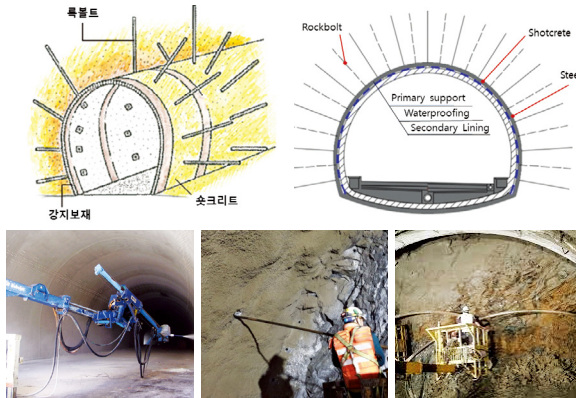
[그림 20] NATM Sequence



8. 주지보와 보조공법

NATM 터널에서의 주지보재는 숏크리트(shotcrete)와 록볼트(rockbolt)를 조합한 지보시스템이며, 암반상태에 따라 강지보재(steel rib)를 적용한다(그림 21). 가장 중요한 역할을 하는 지보는 숏크리트로 굴착 이후 지반이완을 최소화하기 위하여 가능한 빨리 타설하는 것이 중요하다.

[그림 21] NATM 공법에서의 주지보



NATM 터널은 설계단계에서 암반분류(RMR 및 Q-System 적용)에 의한 암반등급에 따른 표준지보패턴과 단층파쇄대 및 이상대와 같은 특수한 경우를 대비한 지보패턴을 고려하여 설계를 수행하게 된다. [그림 22]에는 NATM 터널 표준지보패턴의 예가 나타나 있으며, 암반상태가 나뉠수

록 지보량이 증가하게 되고, 추가적으로 보조공법 등이 적용되어 터널 안정성을 확보하도록 하고 있다.

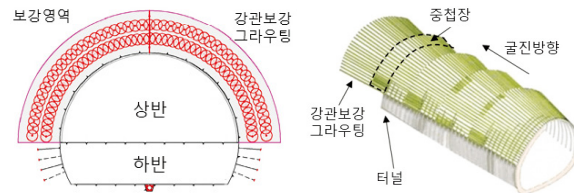
[그림 22] NATM 공법에서의 지보패턴

구분	P-1	P-2	P-3
표준단면			
암반등급	I	II	III
RMR	100~81	80~61	60~41
Q	40이상	40~10	10~4
굴착공법	전단면굴착	전단면굴착	전단면굴착
굴진장(상반/하반)(m)	3.5(2회굴진후지보)	3.5	2.0
숏크리트두께(cm)	5(일반)	5(강성유)	8(강성유)
록볼트 길이(총/횡)(m)	3.0(Rndom)	4.0(3.5/2.0)	4.0(2.0/2.0)
강지보재	규격(간격)	-	-
보조공법	-	-	-

구분	P-4	P-5	P-5-1
표준단면			
암반등급	IV	V	파쇄대/이상대
RMR	40~21	20이하	-
Q	4~1	1미만	-
굴착공법	상하분할굴착	상하분할굴착	링컷굴착
굴진장(상반/하반)(m)	1.5/3.0	1.2/1.2	1.0/1.0
숏크리트두께(cm)	12(강성유)	16(강성유)	20(강성유)
록볼트 길이(총/횡)(m)	4.0(1.5/1.5)	4.0(1.2/1.5)	4.0(1.0/1.2)
강지보재	규격(간격)	LG-50X20X30(1.5)	LG-70X20X30(1.2)
보조공법	필요시 워셔링	워셔링	강관보강그라우팅

단층파쇄대와 같이 지반이 불량하거나 연약한 경우에는 터널의 안정성을 확보하기 위하여 보조공법(auxiliary method)을 적용하게 된다. 이는 터널 주변지반의 지지력을 증진시키기 위한 것으로 가장 일반적으로 적용되는 보조공법은 Umbrella Arch 공법으로 알려진 강관그라우팅 보강공법이다(그림 23). 본 공법은 천단부에 빔아치체의 보강영역을 형성하여 천단부의 안정성을 확보하는 개념이다.

[그림 23] 강관보강 그라우팅 공법

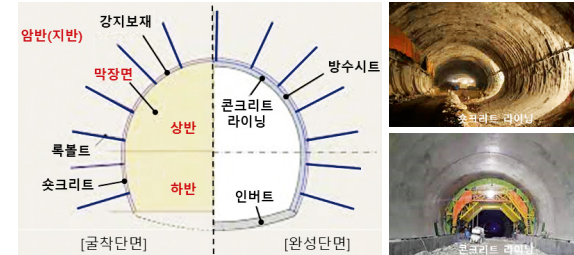


9. 숏크리트 라이닝과 콘크리트 라이닝

터널공사에서 라이닝(lining)은 일정한 두께로 터널면을 따라 만들어지는 지지구조를 말한다. NATM 터널은 굴착단계의 숏크리트 라이닝과 지보이후의 콘크리트 라이닝으로 구성되는데(그림 24), 숏크리트 라이닝은 굴착단계에서 시

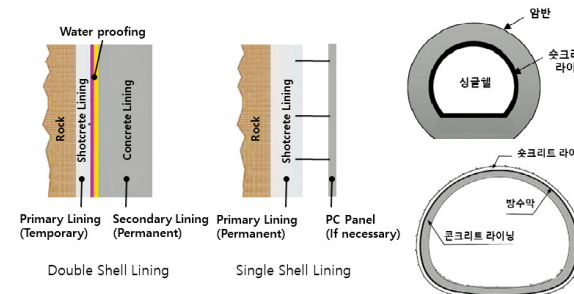
공되므로 1차 임시 지보(primary/temporary support) 개념이며, 콘크리트 라이닝은 최종 완성단면을 이루게 되므로 2차 영구 라이닝(secondary/permanent lining) 개념이다.

[그림 24] 숏크리트 라이닝과 콘크리트 라이닝



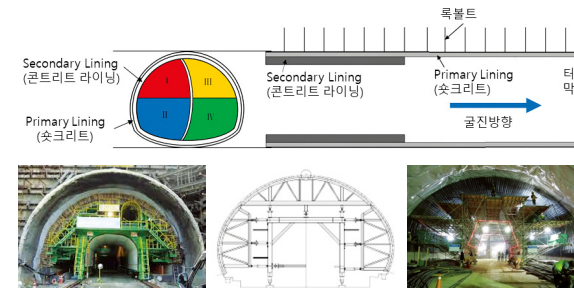
[그림 25]에서 보는 바와 같이 숏크리트 라이닝과 콘크리트 라이닝이 이중으로 설치되는 구조를 더블셸(double shell) 구조라고 하며, 숏크리트 라이닝 또는 쉴드 TBM의 세그먼트 라이닝만이 설치되는 경우를 싱글셸(single shell) 구조라고 한다. NATM 터널은 장기적인 안정성 확보를 위해 더블셸 구조를 형성하게 된다.

[그림 25] NATM 터널의 싱글셸과 더블셸 라이닝



NATM 터널에서 콘크리트 라이닝은 1차 지보(숏크리트+록볼트+강지보재)가 설치된 이후 [그림 26]에서 보는 바

[그림 26] 현장 타설 콘크리트 라이닝 시공



와 같이 강재 거푸집을 이용하여 현장타설 콘크리트로 타설로 만들어진다. 한 번에 타설되는 길이를 1스판(span)이라고 하며, 1스판을 반복적으로 타설해야하기 때문에 터널 공기에 영향을 주는 주요 공정이며 특히 콘크리트 라이닝의 품질관리에 주의해야 한다.

10. NATM의 다른 이름들

NATM 공법은 오스트리아에서 개발되고 명명된 터널공법으로 세계적으로 널리 이용되고 있지만, 일부 국가에서는 NATM 공법의 독창성을 인정하지 않거나 기존의 터널공법과 크게 다르지 않다는 개념으로 NATM이라는 이름을 사용하지 않고 [표 6]에서 보는 바와 같이 별도의 다른 이름을 사용하는 경우가 있다. 특히 일본에서의 NATM은 산악터널공법에 적용되는 터널공법으로 통용되고 있다.

[표 6] NATM의 다른 이름들

구분	공법	비고
Conventional Tunnelling	(NATM) New Austrian Tunnelling Method	오스트리아, 한국, 일본 등
	(SCL) Sprayed Concrete Lining Method	영국, 홍콩, 싱가포르 등
	(SEM) Sequential Excavation Method	미국 등
	(NMT) Norwegian Method of Tunnelling	노르웨이
	山岳トンネル工法 (산악터널공법) - NATM	일본
Mechanized Tunnelling	(TBM) Tunnel Boring Machine	전세계
	シールド工法 (Shield 쉴드공법)	일본

■ SCL(Sprayed Concrete Lining) 숏크리트 라이닝 공법

SCL(Sprayed Concrete Lining)은 터널의 주지보로서 숏크리트(Shotcrete/Sprayed Concrete)를 사용한다는 개념으로 NATM의 다른 이름으로 사용된다(그림 27). SCL은 NATM에 들어있는 새로운(New)라는 의미와 오스트리아(Austria)라는 국가명에 대한 반감으로 NATM 공법은 오스트리아에서 개발된 새로운 공법이 아니며, 지반이완을 최소화하고 지반의 자체지지능력(self-support capacity)을

극대화하기 위하여 숏크리트 라이닝을 적용하는 공법이라는 개념으로 SCL 이라고 명명하였으며, 주로 영국, 홍콩, 싱가포르 등지에서 일반적으로 사용되고 있다.

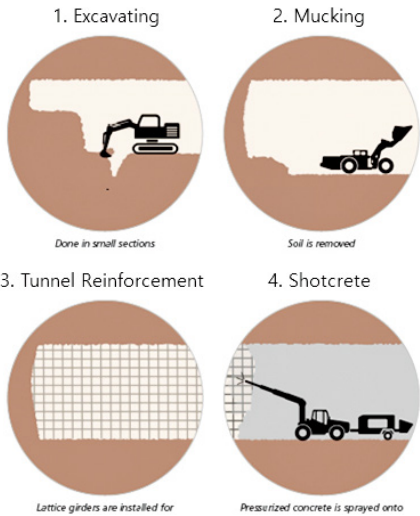
[그림 27] SCL 공법 (영국)



■ SEM(Sequential Excavation Method) 순차적 굴착공법

SEM(Sequential Excavation Method) 공법은 암반을 순차적(단계적)으로 제거한 후 지보를 설치한다는 개념에서 명명된 NATM의 다른 이름이다(그림 28). SEM 프로세스는 지반조사결과에 의한 암반분류에 따라 굴착/지보 등급(excavation and support class)을 적용하는 것이다. SEM은 주로 미국 등의 북미에서 사용되고 있으며, 수많은 터널, 지하철 및 정거장 공사에 적용되고 있다.

[그림 28] SEM 공법 (미국)



■ 제2강을 마치면서 - NATM VS. TBM

터널에서의 NATM 공법은 1960년대 개발된 이후로 세계적으로 가장 많이 적용되는 터널 기술로서 국내에서도

1980년대 이후 대부분의 터널공사에 적용되어 많은 기술적 노하우가 축적되어 국내 NATM 터널기술은 세계 최고 수준이라고 할 수 있다.

NATM 터널은 단면을 다양하게 계획할 수 있고, 대단면의 복잡한 터널을 안전하게 굴착할 수 있는 엄청난 장점으로 인하여 지속적으로 적용되고 발전하여 왔으며, 지금은 모든 지반(연약한 지반부터 경암반 까지)에서 적용 가능하며, 프로젝트 계획에 맞는 다양한 터널 단면을 만들 수 있는 만능의 터널공법으로 자리 잡게 되었다.

하지만 터널 굴착을 보다 효율화하기 위하여 발파굴착으로 적용하게 되며, 이에 따른 진동과 소음의 문제는 피할 수 없는 이슈가 되고 있다. 이에 따라 발파공해 문제를 해결하기 위한 다양한 기술(미진동 발파/무진동 굴착공법)들이 반영되고 있지만 아직은 기술적 효용성을 가지지 못하고 있다.

최근 터널공사에서 이러한 문제에 대한 적극적 대안으로 로드헤더(roadheader)를 이용한 기계굴착이 도입되고 있으며, TBM 공법의 적용이 활발해지고 있다. 특히 도심지 터널공사의 경우에는 안전 및 환경에 대한 문제가 이슈가 되기 때문에 터널공법 검토시 NATM 공법보다는 TBM 공법이 보다 우선적으로 선호되고 있는 흐름이다.

제2강에서 언급한 NATM 공법의 10가지 키워드를 생각해 보면 NATM 공법은 변화가 많은 암반/지반 조건에 능동적으로 대응할 수 있고, 다양한 형태의 터널 단면을 계획할 수 있으며, TBM 공법에서는 구현할 수 없는 대단면 터널을 시공할 수 있다는 가지고 있음을 유념해야만 한다. 선진국의 경우도 단면이 일정하고 공정이 단순한 본선구간에는 TBM 공법을 단면이 크고 공정이 복잡한 경우에는 NATM 공법을 적용하여 NATM 공법과 TBM 공법을 복합적으로 적용하고 있음을 볼 수 있다.

따라서 지하터널 프로젝트를 계획하는 경우 NATM 공법과 TBM 공법의 특징과 장단점을 충분히 고려하고, 지반조건과 현장 상태를 잘 반영하도록 하여 최적 공법을 선정하여야 할 것이다. 🇰🇷

[요약 Summary] NATM 터널의 기술 특성과 트렌드

Key Word	특징	비고
NATM 공법과 재래식 공법	•지반이완 최소화 •숏크리트에 의한 빠른 지보 설치 •인버트를 포함한 링폐합 구조 형성	
대단면화와 초대단면 터널	•복합, 다기능에 따른 대단면화 •4차선/정거장 터널 등 대단면 터널 •수백㎡ 이상의 초대단면 터널	
분할 굴착과 전단면 굴착	•대단면화에 따른 분할 굴착 •중벽분할과 측벽도강 분할 굴착 •지반보강후 전단면 굴착	
다양한 단면 형상과 특수 단면터널	•마제형, 아치형, 난형 등 다양 •터널폭의 커짐에 따라 타원형 •암반특성에 따라 특수 단면 가능	
장대화 and 초장대 터널	•수십km 이상의 초장대 터널 증가 •세계 최대 고르타드 베이스 57km •국내 최대 울현터널 50.3km	
발파 굴착과 기계 굴착	•발파굴착의 진동문제 이슈 •고성능 로드헤더의 적용확대 •발파+기계굴착의 복합 굴착	
NATM 시공과 1사이클	•천공-장약-발파-버력처리-지보 •방수-콘크리트 라이닝 타설 •1사이클의 반복 공정	
주지보와 보조공법	•주지보 : 숏크리트/록볼트/강지보재 •보조공법 : 강관보강그라우팅 등 •주지보+보조공법	
숏크리트 라이닝과 콘크리트 라이닝	•숏크리트 : 1차 / 임시 라이닝(지보) •콘크리트 : 2차 / 영구 라이닝 •싱글셀과 더블셀 라이닝 구조	
NATM의 다른 이름들	•SCL 숏크리트 라이닝 공법 - 영국 •SEM 연속굴착공법 - 미국 •NMT 노르웨이 터널공법	
NATM Tunnel : Larger, Faster and Longer		