

숫자와 그림으로 보는 터널 이야기(TBM편)

(Key Issues for Tunnel and Tunnelling)

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

터널 기술강좌를 시작하면서

요즘처럼 터널과 지하(Tunnel and Underground)가 핫한 경우가 없었다. 이는 지하를 이용한 교통인프라의 구축에 대한 관심과 수요가 계속 증가하고 있기 때문이다. 업무 속 도로지식이라는 콘텐츠를 통해 터널과 지하에 대하여 알기 쉽게 이해할 수 있도록 다양한 기술적인 내용을 주제별로 나누어 알기 쉽게 숫자와 그림으로 표현하여 정리하였다. 본 강좌는 [숫자와 그림으로 보는 터널이야기]로 터널에 대한 핵심 이슈들을 정리하여 표에서 보는 바와 같이 총 8번 내용으로 구성되었다.

[숫자와 그림으로 보는 터널 이야기]의 구성과 내용

	내용		핵심 이슈
제1강	숫자와 그림으로 보는 TBM 터널	TBM Tunnel	기계화 시공
제2강	숫자와 그림으로 보는 NATM 터널	NATM Tunnel	발파 문제
제3강	숫자와 그림으로 보는 대심도 터널	Deep Tunnelling	대심도 지하
제4강	숫자와 그림으로 보는 도심지 터널	Urban Tunnelling	도심지 안전 리스크
제5강	숫자와 그림으로 보는 해저 터널	Undersea Tunnel	한일 해저터널
제6강	숫자와 그림으로 보는 초장대 터널	Super long Tunnel	세계의 초장대 터널
제7강	숫자와 그림으로 보는 초고속 터널	Hyper Tunnel	초고속 교통인프라
제8강	숫자와 그림으로 보는 스마트 터널	Smart Tunnel	BIM 및 스마트 기술

1. 제1강. 숫자와 그림으로 보는 TBM 터널

최근 기계 공학 및 전자 기술의 급격한 발전과 스마트 건설로의 전환과 함께 TBM 터널 기술도 혁신적인 변화를 가져오고 있다. 이와 같은 TBM 터널의 기술 발전과 트렌드를

[표 1]에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 초단면화, 초장대화, 초굴진화, 대심도화 및 초근접화의 5-Hyper(超)와 복합화, 기계화, 스마트화, 안전화, 아트화의 5-High(高)로 요약된다.

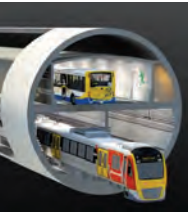
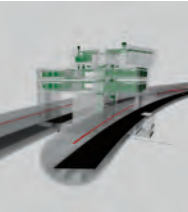
[표 1] TBM 터널의 기술 발전과 트렌드

Key Word			As-is	To-Be
5-Hyper 超(초)	초단면화	더 크게	직경 10m급 내외	직경 15m급 이상
	초장대화	더 길게	연장 수km 내외	연장 수십km 이상
	초굴진화	더 빠르게	굴진율 수m/일	굴진율 수십m/일
	대심도화	더 깊게	지하심도 30m 내외	지하심도 50m 이상
	초근접화	더 가깝게	이격거리 1.0D 이상	이격거리 수m 이내
5-High 高(고)	복합화	복합 다기능	Single-Function	Multi-Function
	기계화	고성능 기술	기계 장비 위주	첨단 기술 적용
	스마트화	디지털 기술	Monitoring Data	BIM 기술 응용
	안전화	시스템 관리	정성적 안전 관리	정량적 리스크 관리
	아트화	미적 디자인	단순한 굴착기계	상징화된 의미

[표 2] 5-Hyper TBM Tunnel

	Hyper(超) 대단면화 The Larger	• 직경 14~15m급 Mega TBM 적용 확대 • 세계 최대 TBM 단면 17.6m – 홍콩 TMCLK 터널(도로) • 국내 최대 TBM 단면 13.98m – 김포파주 고속도로 한강터널(도로)
	Hyper(超) 초장대화 The Longer	• 연장 50km이상의 초장대 터널 건설 증가 • 세계 최장대 TBM 터널 57.5km (직경 11m) – 스위스 Gotthard Base 터널 (철도) • 국내 최장대 TBM 터널 22.3km (직경 3.3m) – 영천 도수로 터널 (수로)
	Hyper(超) 굴진화 The Faster	• 직경 14~15m급 Mega TBM 적용 확대 • 세계 최대 월굴진율 1,482m (직경 10.8m) – 미국 시카고 TARP 터널 (수로) • 세계 최대 일굴진율 106m (직경 9.6m) – 스페인 La Cabrera 터널 (철도)
	Hyper(超) 대심도화 The Deeper	• 도심지 터널의 대심도화 (지하 50m이하) • 세계 최대 심도 터널 / 지하 2300m – 스위스 Gotthard Base 터널 (철도) • 도심지 대심도 터널 / 지하 80m – 싱가포르 케이블 터널 (유틸리티)
	Hyper(超) 초근접화 The Closer	• 도심지 구간에서 초근접 시공 증가(수m 이내) • 도심지 터널 초근접 이격거리 1m – 미국 맨하탄 East Side Access터널 (지하철) • 도심지 터널 이격거리 2.7m – 중국 베이징 Metro Line 10 (지하철)

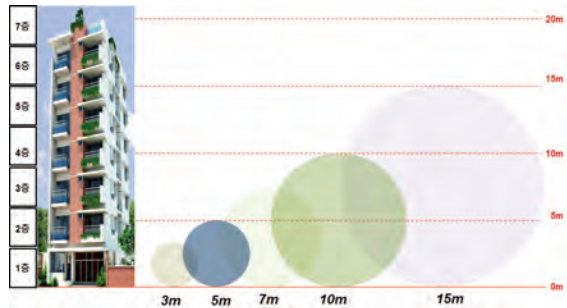
[표 3] 5-High TBM Technology and Trend

	High(高) 복합화 More Complex	• 도로와 철도 기능의 복합화 (Combined) • 도심지 복합터널 / 복층구조 – 호주 브리스번 (도로+메트로) • 대단면 복합터널 / 복층구조 직경 15.2m – 중국 Sanyang 하저터널(고속도로+철도)
	High(高) 기계화 More Mechanized	• TBM 장비의 첨단 자동화 • TBM Robot 기술 – 프랑스 Chiltern 터널(철도) • 고수압 대응 기술 – TBM Hyperbaric Chamber/Intervention
	High(高) 스마트화 The Smarter	• 대형 터널프로젝트에 BIM 기술 적용 • 통합 4D-BIM 운영 – 공정관리 및 설계에서부터 유지관리까지 • 싱가포르 지하공사 – Integrated Digital Delivery(IDD) 적용
	High(高) 안전화 The Safer	• 지하공사에서의 안전 리스크 관리 강화 • 싱가포르 LTA – Total Safety Management System • 국제터널협회(ITA) 및 영국 CDM – 정량적 Risk Management System(RMS)
	High(高) 아트화 Art Design	• TBM 장비의 예술적 디자인 (상징성 부여) • 국가적 상징 – 국기를 형상화 – 인도, 스페인, 터키, 이태리, 캐나다 등 • 발주기관 및 SPC 상징 – 프로젝트 형상화 – 호주 West Gate Tunnel 프로젝트

2. 초대단면화 – The Larger

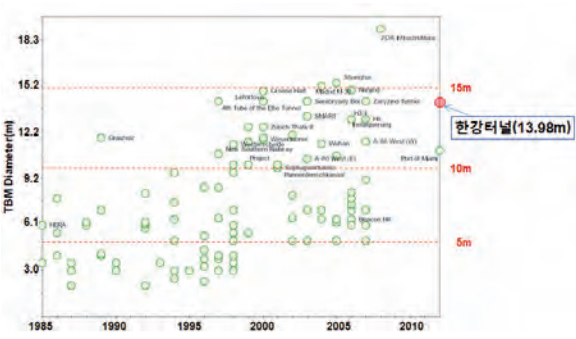
TBM 장비 제작기술이 발전함에 따라 TBM 터널 직경은 점점 커지고 있다. 지하철 터널이 직경 7m~8m급, 철도 터널이 직경 12m~14m급, 도로터널이 직경 14m~15m급이며, [그림 1]에는 TBM 직경크기 비교가 나타나 있다.

[그림 1] TBM 직경 크기 비교



1985년이후부터 최근 까지의 적용된 TBM 터널 직경이 [그림 2]에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 TBM 직경이 점차적으로 점점 커지고 있음을 확인할 수 있으며, 국내 최대 TBM 터널인 한강터널의 TBM 직경을 표시하였다.

[그림 2] Increasing TBM diameters during 1985–2012



[표 4] TBMs of more than 14m in diameter used and currently operating or on order for projects around the world

Date	Country	Project	TBM manufacturer	Diameter
2020	China	Zhenzho undersea highway crossing, Shenzhen	2 TBMs	15.03m
2020	China	Mawan undersea highway crossing, Shenzhen	2 slurry TBMs one a STEC machine	14.90m
2020	China	Genshan East highway crossing under Qiantang River, Hanzhou	1 CRCHI slurry TBM	15.01m
2020	Australia	Melbourne West Gate Highway	2 Herrenknecht EPBMs	15.60m
2018	China	Nanjing MeiZiZhou Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield Ex-Nanjing Machine	15.43m
2018	China	Shanghai Zhou Jia Zui Road River Crossing Motorway	1 Herrenknecht Mixshield	14.90m
2017	China	Suai highway tunnel, Shantou	1 CREG slurry TBM	15.30m
2017	China	Shantou Su/Ai Sub-sea Tunnel East	1 Herrenknecht Mixshield	14.96m

독일 TBM 장비제작사인 Herrenknecht에서 제시한 TBM 직경에 대한 크기 비교는 [그림 3] [그림 4] [그림 5]에 나타난 바와 같다. EPB 실드는 15.20m(마드리드, 2006), Mix 실드는 17.6m(홍콩, 2013)으로 나타났다.

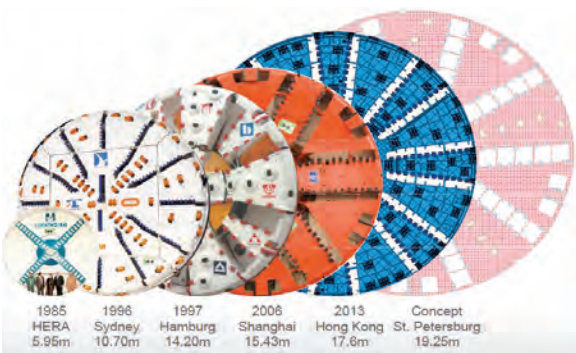
[그림 3] EPB Shields and Mix shield 직경 크기 비교



[그림 4] Development of TBM Diameter / EPB Shields (From Herrenknecht)



[그림 5] Development of TBM Diameter / Mix Shields (From Herrenknecht)



Date	Country	Project	TBM manufacturer	Diameter
2017	China	Shenzhen highway tunnel	1 CREG slurry TBM	15.80m
2017	Japan	Tokyo Outer Ring Road Kan-etsu to Tomei	4 machines 1 Kawaski, 3 JIM	16,10m
2017	China	Shanghai Zhuguang Road Tunnel	1 Herrenknecht EPBM Ex Auckland Waterview TBM	14,41m
2016	China	Shanghai Yanjiang A30 Motorway	2 Herrenknecht Mixshields Ex Shanghai Changjiang under river project	15,43m
2018	China	Shanghai Zhou Jia Zui Road River Crossing Motorway	1 Herrenknecht Mixshield	14,90m
2017	China	Suai highway tunnel, Shantou	1 CREG slurry TBM	15,30m
2016	China	Shanghai Bei Heng Motorway	1 Herrenknecht Mixshield	15,53m
2016	China	Zhuhai Hengqin Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield Ex Shanghai Hongmei Road Tunnel TBM	14,90m
2016	Italy	Santa Lucia Highway Tunnel, A1 near Firenze	1 Herrenknecht EPBM	15,87m
2015	Hong Kong	Lung Shan Tunnel on Liantang Highway Project	1 NFM TBM	14,10m
2015	Hong Kong	Tuen Mun–Chek Lap Kok subsea highway link	2 Herrenknecht Mixshields 1 Herrenknecht Mixshields	17,60m 14,00m
2015	China	Wuhan Metro Line 7 Sanyang Road river crossing (Metro + 3 Lane road)	2 Herrenknecht Mixshields	15,76m
2013	China	Shouxhou Lake Highway Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield Ex-Nanjing Machine	14,93m
2013	Italy	Caltanissetta highway tunnel, Sicily	1 NFM Technologies EPBM	15,08m
2011	China	Shanghai West Changjiang Yangtze River Road Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield Ex-Shanghai Changjiang highway	15,43m
2013	New Zealand	Waterview highway connection, Auckland	1 Herrenknecht EPBM	14,41m
2011	USA	Alaskan Way highway replacement tunnel	1 Hitachi Zosen EPBM	17,48m
2011	China	Weisan Road Tunnel, Nanjing	2 IHI/Mitsubishi / CCCC slurry TBMs	14,93m
2012	China	Shanghai Hongmei Road	1 Herrenknecht Mixshield	14,93m
2013	Italy	Caltanissetta highway tunnel, Sicily	1 NFM Technologies EPBM	15,08m
2011	China	Shanghai West Changjiang Yangtze River Road Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield Ex-Shanghai Changjiang highway	15,43m
2013	New Zealand	Waterview highway connection, Auckland	1 Herrenknecht EPBM	14,41m
2011	USA	Alaskan Way highway replacement tunnel	1 Hitachi Zosen EPBM	17,48m
2011	China	Weisan Road Tunnel, Nanjing	2 IHI/Mitsubishi / CCCC slurry TBMs	14,93m
2012	China	Shanghai Hongmei Road	1 Herrenknecht Mixshield	14,93m
2011	Italy	A1 Sparvo highway tunnel	1 Herrenknecht EPBM	15,55m
2010	Spain	Seville SE-40 Highway Tunnels	2 NFM Technologies EPBMs	14,00m
2010	China	Hangzhou Qianjiang Under River Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield Ex-Shanghai Changjiang highway	15,43m
2009	China	Yingbinsan Road Tunnel, Shanghai	1 Mitsubishi EPBM Ex-Bund Tunnel machine	14,27m
2008	China	Nanjing Yangtze River Tunnel	2 Herrenknecht Mixshields	14,93m
2007	China	Bund Tunnel, Shanghai	1 Mitsubishi EPBM	14,27m
2006	China	Jungong Road Subaqueous Tunnel, Shanghai	1 NFM slurry shield Ex-Groenehart machine	14,87m
2006	China	Shanghai Changjiang under river highway tunnel	2 Herrenknecht Mixshields	15,43m
2006	Canada	Niagara Water Diversion Tunnel	1 Robbins Gripper TBM Rebuilt Manapouri machine	14,40m
2005	Spain	Madrid Calle 30 Highway Tunnels	2 machines / 1 Herrenknecht, 1 Mitsubishi	15,20m
2004	Russia	Moscow Silberwald Highway Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield Ex-Elbe project machine	14,20m
2004	China	Shangzhong Road Subaqueous Tunnel, Shanghai	1 NFM Technologies Ex-Groenehart machine	14,87m
2004	Japan	Tokyo Metro	1 IHI EPBM	14,18m
2001	Russia	Moscow Lefortovo Highway Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield Ex-Elbe project machine	14,20m
2000	Netherlands	Groenehart double-track rail tunnel	1 NFM Technologies	14,87m
1997	Germany	Hamburg 4th Elbe River Highway Tunnel	1 Herrenknecht Mixshield	14,20m
1994	Japan	Trans Tokyo Bay Highway Tunnel	8 machines 3 Kawasaki, 3 Mitsubishi, 1 Hitachi, 1 IHI	14,14m

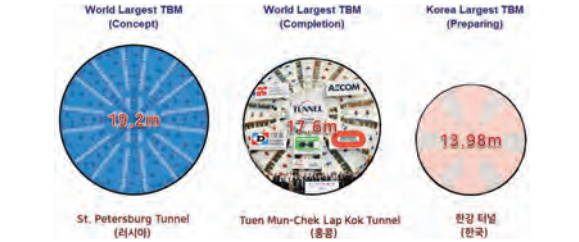
[그림 6]에는 세계적으로 운영중이거나 준공된 TBM 터널에서의 최대 TBM 직경을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 TBM 직경 최대 17m급이 미국과 홍콩에서 적용된 바 있음을 확인할 수 있다.

[그림 6] Mega TBMs in the World



[그림 7]에는 국내 최대 TBM 직경과 세계 최대 TBM 직경을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 현재 계획중인 최대 TBM 직경은 러시아에서 구상중인 19.2m, 준공된 최대 TBM 직경 홍콩에서의 17.6m, 국내 최대 TBM 직경은 13.98m 로 조사되었다.

[그림 7] TBM 직경 비교



3. 초장대화 – The Longer

TBM 장비 제작 기술과 굴진 기술이 발전함에 따라 TBM 터널의 연장은 점점 길어지고 있다. [그림 8]에는 세계적인

[그림 8] 7 Longest Tunnels in the World (NATM and TBM)



초장대 터널을 나타낸 것으로 산악을 통과하거나, 해저를 통과하는 철도터널은 초장대화 되고 있으며, 세계 최장대 터널은 57.5km의 스위스 고타드 베이스 터널이다.

[그림 9]에서 보는 바와 같이 국내 최장대 터널은 NATM 공법으로 굴착된 연장 50.3km의 울현 터널이며, TBM 공법으로 굴진된 경우는 연장 33km의 영천댐 도수로 터널이다. 현재 시공중인 국내 최대 TBM 터널은 한강하저를 통과하는 한강터널로 연장 2.86km이다.

[그림 9] Longest TBM Tunnels in the World and Korea



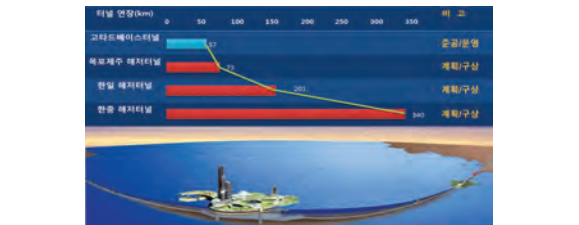
[그림 10]에는 세계적으로 운영중이거나 준공된 TBM 터널에서의 초장대 TBM 터널을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 세계최대 장대터널은 연장 137km의 미국의 Delaware Aqueduct 로 조사되었다.

[그림 10] Longest Tunnels in the World



국내의 경우 해저를 통과하는 해저터널이 초장대 터널로 계획중에 있다. [그림 11]에서 보는 바와 같이 목포제주 해

[그림 11] 국내에서 구상중인 초장대 해저터널

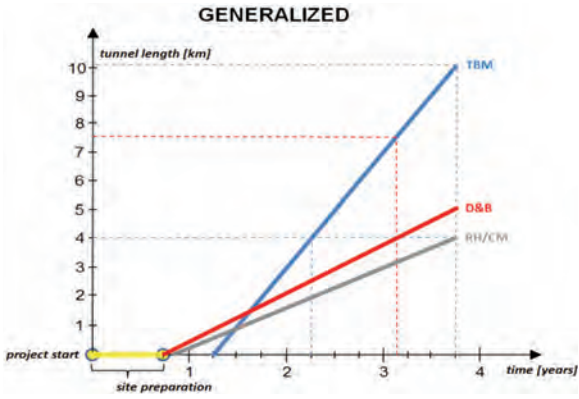


저터널, 한일 해저터널 및 한중 해저터널 등이 TBM 공법으로 구상중에 있다.

4. 초굴진화 – The Faster

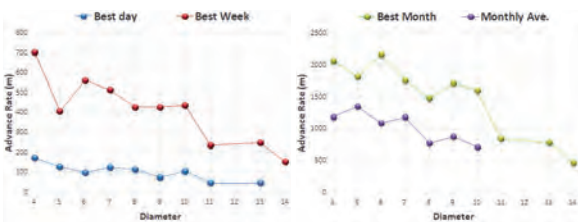
TBM 터널은 NATM 공법에 비하여 굴진속도가 빠르기 때문에 장대터널 건설에 유리하다 할 수 있다. [그림 12]는 발파를 이용하는 NATM 공법, TBM 공법 및 로드헤더(Roadheader) 굴착공법에서의 굴진속도를 비교한 것으로 그림에서 나타난 바와 같이 빠른 굴진속도가 TBM 공법의 장점임을 볼 수 있다.

[그림 12] Generalized Graph for Advance Rates (From Robbins)



TBM 굴진속도(굴진율)는 TBM 직경 크기에 따라 좌우되며 [그림 13]에서 보는 바와 같이 TBM 직경이 클수록 TBM 굴진율이 감소함을 볼 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 직경 4m급에서 일최대 700m, 월평균 1000m 이상, 직경 10m 급에서 일최대 100m 이상, 월평균 600m 이상을 기록함을 볼 수 있다. 또한 [표 5]에는 TBM 굴진율에 대한 실제기록을 정리한 것이다.

[그림 13] TBM 직경에 따른 굴진율 비교 그래프



[표 5] TBM Performance World Record – TBM Advance rate

3-4m Diameter				
	Best Day	Best Week	Best Month	Monthly Ave.
Record	172.4m	703m	2066m	1189
Make	Robbins	Robbins	Robbins	Robbins
Model#	Mk 12C	Mk 12C	MB 104-121A	Mk 12C
Project	Katoomba Carrier	Katoomba Carrier	Oso Tunnel	Katoomba Carrier
Tunnel	Australia	Australia	USA	Australia

4-5m Diameter				
	Best Day	Best Week	Best Month	Monthly Ave.
Record	128.0m	477.0m	1822m	1352
Make	Robbins	Robbins	Robbins	Robbins
Model#	MB 146-193-2	MB 146-193-2	DS 1817-290	DS 155-274
Project	SSC No.4 Texas	SSC No.4 Texas	Yellow River Tunnel	Yellow River Tunnel
Tunnel	USA	USA	China	China

5-6m Diameter				
	Best Day	Best Week	Best Month	Monthly Ave.
Record	99.1m	362m	2163m	1095
Make	Robbins	Robbins	Robbins	Robbins
Model#	MB 1410-251-2	MB 1410-251-2	MB 1410-251-2	DS 1811-256
Project	Little Calumet, Chicago	Little Calumet, Chicago	Little Calumet, Chicago	Yinderuqin
Tunnel	USA	USA	USA	China

6-7m Diameter				
	Best Day	Best Week	Best Month	Monthly Ave.
Record	124.7m	515.3m	1754m	1187
Make	Robbins	Robbins	Robbins	Robbins
Model#	MB 203-205-4	MB 203-205-4	MB 203-205-4	MB 222-183-2
Project	Indianapolis DRT	Indianapolis DRT	Indianapolis DRT	Dallas Metro
Tunnel	USA	USA	USA	USA

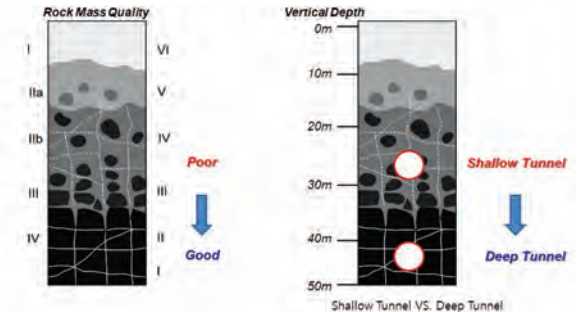
7-8m Diameter				
	Best Day	Best Week	Best Month	Monthly Ave.
Record	115.7m	428.0m	1472m	770
Make	Robbins	Robbins	Robbins	Robbins
Model#	MB 236-308	MB 236-308	MB 321-200	MB 321-200
Project	Karahnjúkur Hydroelectric	Karahnjúkur Hydroelectric	TARP, Chicago	TARP, Chicago
Tunnel	Iceland	Iceland	USA	USA

8-9m Diameter				
	Best Day	Best Week	Best Month	Monthly Ave.
Record	75.5m	428m	1719m	873
Make	Robbins	Robbins	Robbins	Robbins
Model#	271-244	271-244	271-244	271-244
Project	Channel Tunnel	Channel Tunnel	Channel Tunnel	Channel Tunnel
Tunnel	U.K.	U.K.	U.K.	U.K.

5. 대심도화 – The Deeper

도심지 터널에서의 터널 건설은 점점 대심도화하고 있다. 이는 기존 지하철 심도보다 깊은 대심도 구간은 [그림 14]

[그림 14] 대심도화에 따른 특성



에서 나타난 바와 같이 대심도화 할수록 암반이 양호하며 터널굴착에 매우 양호한 조건임을 볼 수 있다.

싱가포르의 경우 대심도 지하개발(Deep Underground Development)에 대한 계획을 수립하고 [그림 15]에 나타난 바와 같이 지하 심도별로 주요 지하구조물계획을 수립하고 운영하고 있음을 확인할 수 있다.

[그림 15] Vertical Planning of Underground in Singapore



또한 런던과 시드니와 같은 메가 시티에서는 도심지 터널링이 점점 지하화하고 있음을 볼 수 있으며, 런던의 경우 메트로가 지하 70~80m로, 시드니의 경우 지하도로가 최대 90m로 계획되고 시공되고 있음을 확인할 수 있다.

[그림 16] Deeper Tunnelling in London



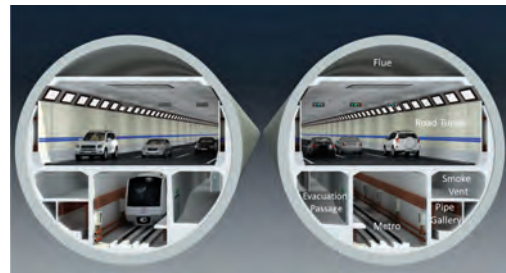
[그림 17] Deeper Tunnelling in Sydney



6. 복합화 – More Complex

TBM 터널기술이 발달하고 TBM 터널단면이 증가함에 따라 큰 단면을 한번에 굴착하고 다양한 기능을 포함할 수 있는 복합 터널(Combined Tunnel)로서 복층 구조 또는 3층 구조의 TBM 터널로 만들어 지고 있다. [그림 18]과 [그림 19]에는 대표적인 복합 터널의 모습이 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 상부에는 도로터널로, 하부에는 철도터널로 운용되도록 하고, 3층 구조인 경우 중간층에 철도가 상층과 하층에는 도로로 계획됨을 볼 수 있다.

[그림 18] Combined highway and railway – Sanyang Road Cross-river Tunnel



[그림 19] Triple deck Road and Metro TBM Tunnel for Crossing Bosphorus Strait

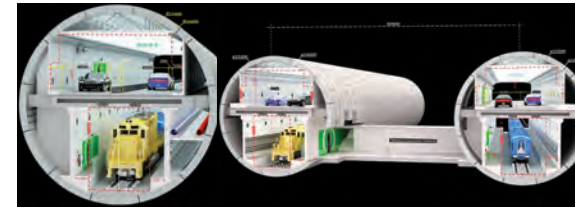


[그림 20] [그림 21] [그림 22]에는 현재 계획중이나 운영중인 복합 터널의 예로서 도심지 터널이나 해저 터널에서의 대안으로 제시되고 있다.

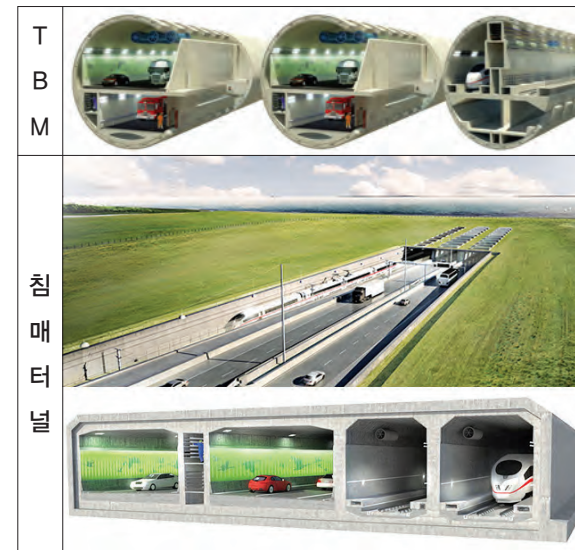
[그림 20] Double deck Road and Rail Tunnels in Brisbane



[그림 21] Kerch Tunnel for Road and Railway for Crossing the Kerch Strait



[그림 22] The Longest Immersed Road and Rail Tunnel – The Fehmarnbelt Tunnel



7. 터널의 미학 – Art Design of Tunnel

TBM 장비는 고가의 대형 건설장비로서 프로젝트의 특징과 발주처의 특성에 따라서 다양한 형태의 디자인을 적용하고 있음을 볼 수 있다. [그림 23]에는 세계 각국에서 만들어진

[그림 23] 국가, 지역 및 발주처 특성을 반영한 TBM 디자인



TBM 장비 디자인의 예를 나타난 것이다. 또한 [그림 24]은 독일 국화인 카모마일꽃을 형상화한 TBM 장비를 보여주고 있다.

[그림 24] Albvorland TBM Tunnel – Chamomile 꽃을 형상화



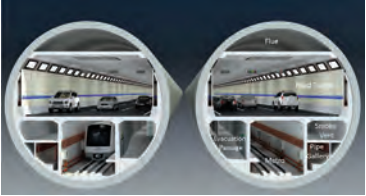
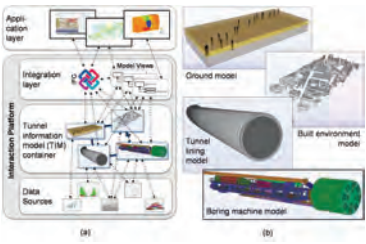
[그림 25]에는 세계 각국의 국기를 상징하는 TBM 장비 디자인 예가 나타나 있다. 또한 대형 터널 프로젝트를 주관하는 발주처 심볼을 상징화하거나 지역 특징을 표현하는 TBM 장비를 보여주고 있다.

[그림 25] TBM 아트 디자인 사례



[요약 Summary] TBM 터널의 기술 발전과 트렌드

Key Word			특징	비고
5-Hyper 超(초)	초단면화	더 크게 The Larger	• 직경 14~15m급 증가 • TBM 장비기술 발달 • 세계최대 직경 17.8m	
	초장대화	더 길게 The Longer	• 수십km 초장대 터널 • 초고속 인프라 구축 • 세계 최장대 56.5km	
	초굴진화	더 빠르게 The Faster	• 급속굴진 기술 발달 • 세계최대 일굴진율 • 세계최대 월굴진율	
	대심도화	더 깊게 The Deeper	• 도심지 터널 대심도화 • 지하 50m 이상 • 세계최대 지하2400m	
	초근접화	더 가깝게 The Closer	• 도심지 근접시공 증가 • 병설터널 초근접화 • 이격거리 수m이하	

Key Word			특징	비고
5-High 高(고)	복합화	복합 기능 More Complex	• 도로+철도 복합기능 • 도로+유틸리티 복합 • 복층/3층 구조	
	기계화	고성능 기술 Mechanized	• 첨단 자동화 기술 • TBM robot 기술 • 고수압 대응기술	
	스마트화	디지털 관리 The Smarter	• 4D-BIM 적용 • 통합 관리 • Digital Delivery	
	안전화	리스크 관리 The Safer	• 정량적 리스크 관리 • 토탈 안전관리시스템 • Zero Accident	
	아트화	미적 디자인 Aesthetic	• 국가적 상징성 부여 • 다양한 TBM 디자인 • 예술적 디자인	

TBM Tunnel : 5-Hyper and 5-High Technology