

터널에서의 여굴 低減 方案에 관한 研究

배상훈¹⁾, 김대상²⁾, 김무일³⁾

Study on Reducing Overbreak in Tunnel Excavation

Sang-Hun Bae, Dae-Sang Kim and Mu-Il Kim

Abstract : Overbreak is an inevitable during tunnel excavation. It significantly affects tunnel construction cost and safety. The overbreak occurs due to incorrect expectations to the geologic structures, excessive charge or strength of explosives, etc. This paper introduces multi-hole drilling method to minimize the overbreak in tunnel excavation. Although the drilling cost of the method is more expensive than those of the existing other drilling method, it is expected that total cost will be reduced.

Key Words : tunnel, overbreak, multi-hole drilling method

초록 : 터널 굴착 작업에서 여굴의 발생은 필연적이라고 할 수 있다. 여굴의 발생은 터널공사에서 공사비 및 안전성에 지대한 영향을 미치게 된다. 여굴은 지질구조를 정확하게 예측하지 못하거나, 적정 장약량을 산정하지 못하는 등 다양한 원인으로 발생한다. 따라서 본 논문에서는 터널 굴착 시 여굴을 최소화할 수 있는 방안으로 다단 천공공법에 대하여 소개하고자 한다. 다단천공 공법은 기존 천공방법보다 천공비용의 증가를 초래하나, 굴착 시 여굴량을 감소시킴으로써 전체 공사비용은 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 터널, 여굴, 다단천공

1. 서 론

국토의 균형 있는 발전을 위하여 추진되고 있는 사회 간접자본 확충사업의 주요한 사업 내용 중의 하나인 도로 및 철도를 건설하는 과정에서 터널공사는 필수적이다.

터널의 1차 숏크리트 라이닝의 설계선 바깥으로 추가로 굴착된 것을 여굴이라 한다. 터널 단면의 크기, 터널길이, 굴착방법 등 각 현장의 여러 상황에 따라 차이를 보이기는 하나, 일반적으로 터널의 경우 전체 공사기간의 약 70% 이상이 암반굴착과 라이닝을 타설 하는 작업에 소요되고 있다. 따라서 전체 공사기간의 단축은 물론 암반을 굴착하는 과정에서 필연적으로 발생하는 여굴발생을 감소시켜 공기 단축 및 비용을 절감시킬 수 있는 방법이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 논문에서는 터널의 굴착과정에서 발생할 수 있는 여굴을 저감시킬 수 있는 새로운 방안을 제시하고자 한다.

터널 굴착공사 설계시 여굴 발생량에 대한 건설표준품셈 및 공사별 적용기준은 Table 1과 같다.

2. 여굴 발생원인 및 방지대책

터널을 굴착할 때 천공장비나 작업방법에 따라 계획단면 이상으로 불가피하게 굴착하는 것을 여굴이라 한다. 본 절에서는 터널 굴착 시 과도한 여굴의 발생원인과 대책을 검토하여 여굴을 최소화하고 가장 이상적인 여굴량을 선정 관리함으로써 원가절감과 안정성을 확보할 수 있는 방안을 제시하고자 하는데 의의가 있다.

2.1 여굴 발생원인

(1) 천공방법과 확천(Look-out)량에 의한 원인

Fig. 1에서와 같이 확천을 고려하지 않았을 경우 내공단면이 축소되는 것을 알 수 있다. 따라서 현장에서는 확천을 고려해서 천공하여 발파를 실시

1) (주)미래공영발파엔지니어링

2) 한국철도기술연구원

3) 서울산업대학교

접수일 : 2005년 3월 24일

Table 1. Application criterion and the present condition of overbreak

구 분	적용기준(cm)		여굴현황(cm)		비 고
	아치부	측벽부	아치부	측벽부	
건설표준품셈	15~20	10~15			굴진장 1.5m 이하 적용
중부, 신갈~반월, 중앙, 영동고속도로	10~20	10~20	23~25	23~25	암종별로 구분
서울지하철	20	20			
부산지하철	15	15			
전기통신공사	20	20			
한국 전력공사	15	15			착암기 사용 시
	30	30			점보드릴 사용 시
철도청	15	15			
석유개발공사(U-2)	17.5	12.5	30	30	
여천 L.P.G	17.5	12.5			
일본국철	20	15			
도로공사	TYPE- I, II	10	10		
	TYPE-III	15	15		
	TYPE-IV, V	20	20		

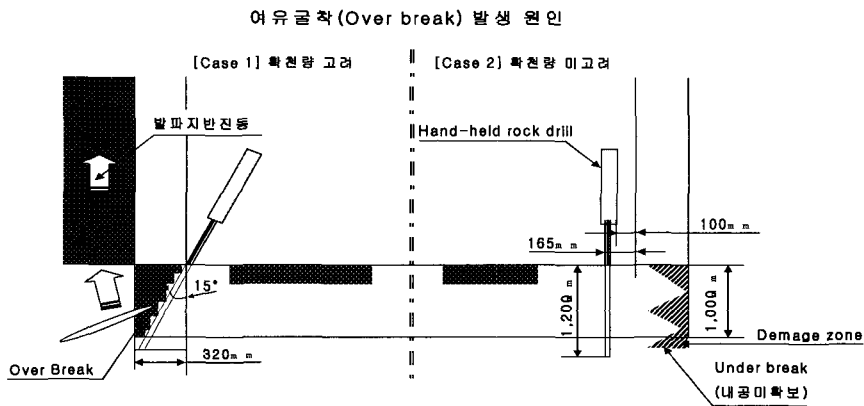


Fig. 1. Occurrence of overbreak by look-out.

해야 한다. 천공작업자의 천공기능 미숙이나 확전을 실시하는 과정에서 작업자의 개인편차에 의한 여굴이 발생할 수도 있다.

(2) 천공장비 및 천공기능에 의한 원인

점보드릴로 천공하는 경우에 천공장을 장공(2.5m이상)으로 할때와 단공으로 할 때에 여굴 발생의 차이가 난다. 또한 동일한 기종의 천공장비를

사용하더라도 기능공의 숙련도에 따라 과다 여굴이 발생할 수 있으므로 철저한 교육과 관리가 요망된다.

(3) 지질구조적 원인

단층지역이나 절리가 발달한 지역 등이 벽면과 주향이 평행하게 20° 이내로 예각을 이룰 때, 또는 벽면과 지질구조선의 경사가 수직내지 70° 정도의

급경사를 이루고 있어 미끄러질 때 과도한 여굴이 발생된다.

(4) 발파에 의한 원인

천공된 공에 공폭현상 등으로 일부 휘어진 공내에 장약하거나 일부 공동으로 순폭거리 이상 떨어져 장진된 경우, 순폭이 되지 않아 불발 되었을 경우 후속 발파시행 등으로 인하여 과도한 여굴이 발생하며, 일부 출수개소에서 불규칙한 발파가 되므로 과도 여굴이 발생하기도 한다.

2.2 여굴 발생 대책

(1) 다단 천공을 통한 여굴 저감 대책

확천을 고려하지 않았을 경우 내공 단면적이 감소하므로 현장에서는 확천을 고려한 발파를 수행하게 된다. 이때 1단천공의 경우 장약량의 대소와 현장 여건에 따라 여굴이 발생하므로 다단으로 천공하고 최소 천공장은 1.2m 정도로 함으로써 여굴을 최소화할 수 있다.

(2) 천공장비 및 천공기능 원인에 대한 대책

주변공의 공간격은 50~60cm정도 되도록 선정하고 주변공의 간격 또한 동 간격을 유지시킴으로써 정확한 천공을 유도한다.

(3) 지질 구조적 원인에 대한 대책

암질이 불량한 구간 및 단층지역에서 주변공을 천공할 때, 약간 안쪽으로 공좌를 선정하여 정밀천공하고 공청소를 한 후 장약한다.

(4) 발파 및 사용화약류에 대한 대책

장약전 천공한 모든 공은 공내를 청소한 뒤 장약하며, 스무스블라스팅의 효과를 증대시키기 위하여 주변공과 전열공과의 간격 및 저항선 간격을 일정하게 천공한다. 전색은 공 입구까지 충전하여 폭약의 폭발에 대하여 충분한 저항을 주어 폭약을 완폭시켜 발파 효율을 증대시키고, 원가절감(화약 절감)등을 위하여 공장의 1/3 으로 한다.

3. 여굴 저감법의 제안

기존의 1단 천공 시 확천량에 의한 여굴량이 천공 깊이에 따라 증가하므로, 이에 대한 개선이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다단 천공방법을 제안하여 여굴량 감소를 꾀하고자 한다.

다단 천공 시 천공비용은 증가하나 이로 인한 여굴량 감소로 전체 비용은 오히려 감소시킬 수 있다. Fig. 2는 3.0m 천공 시 여굴 감소량을 구한 것이고, Table 2는 천공장별 여굴 감소량이다.

③ 3.0m 천공시

▣ 여굴량

① 확천량 = $3.0m \times \sin 4^\circ = 20.9cm$
 ② 천공편차 = $3.0m \times 3cm/m = 9cm$
 Total = 29.9cm

▣ 개선

① 확천량 = $1.5m \times \sin 4^\circ = 10.4cm$
 ② 천공편차 = $1.5m \times 3cm/m = 4.5cm$
 Total = 14.9cm

▣ 감소량 : 15cm

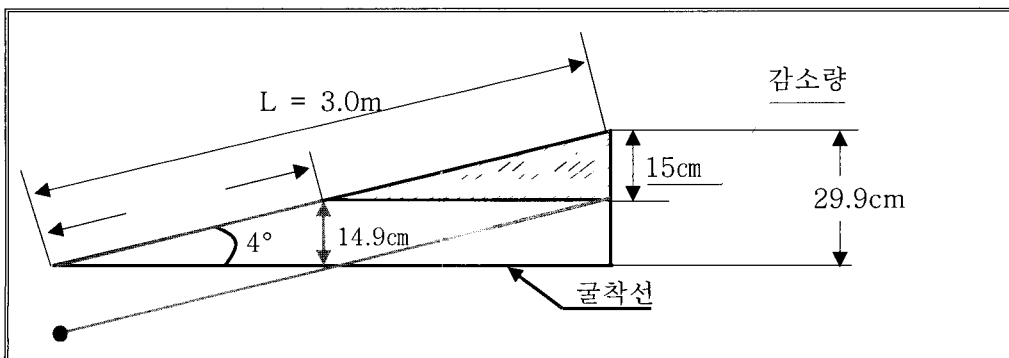


Fig. 2. Decrement of overbreak(drilling depth : 3.0m).

Table 2. Decrement of overbreak by depth of drilling

천공장	최소기준 천공장(m)	확천량 (m)	실제여굴량			개선시 여굴량	여굴감소량(cm)	
			여굴량	천공편차	계(cm)			
①	2.0	1.2	8.3	14	6	20	11.9	8.1
②	2.5	1.3	9	17.4	7.5	24.9	12.9	12
③	3.0	1.5	10	20.9	9	29.9	14.9	15
④	3.7	1.8	12.5	25.8	11.1	36.9	17.9	19

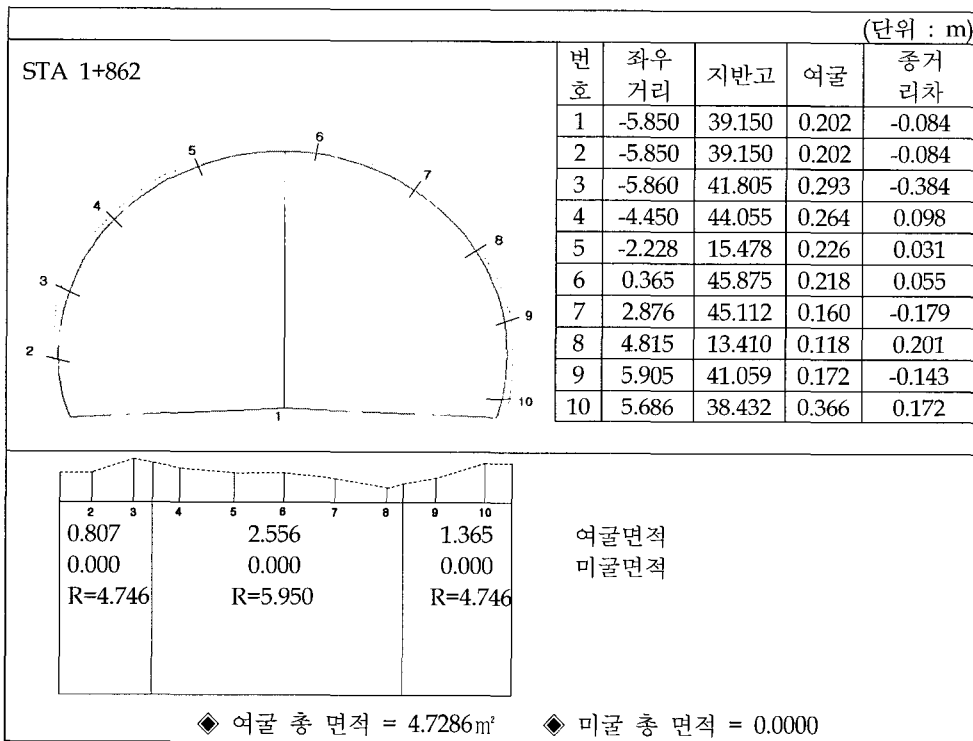


Fig. 3. Overbreak after blasting by single hole drilling method.

4. 실시공 사례를 통한 연구

본 터널은 ○○에 위치한 길이 약 1,200m 정도의 터널로서 조사 구간의 암질은 I, II Type에 해당하는 경암구간이다. Fig. 3은 1단 천공에 의한 발파 후 여굴량이고, Fig. 4는 다단천공에 의한 발파 후 여굴량이다. 1단 천공 시 보다 여굴 총 면적이 -3.4751m²만큼 감소하였음을 알 수 있다.

4.1 ○○○ 터널 여굴량 비교

Table 4는 ○○○ 터널의 850 m 지점에 872 m 지점까지 당초의 1단 천공으로 발파시 여굴량과 920 m 지점에 942 m 지점까지 개선된 2단 천공으로 발파 시 여굴량을 실측한 결과이다. 1단 천공방법보다 다단 천공방법에 의한 굴착 시 평균 여굴량이**0.085(8.5cm)** 감소된 것을 확인할 수 있다.

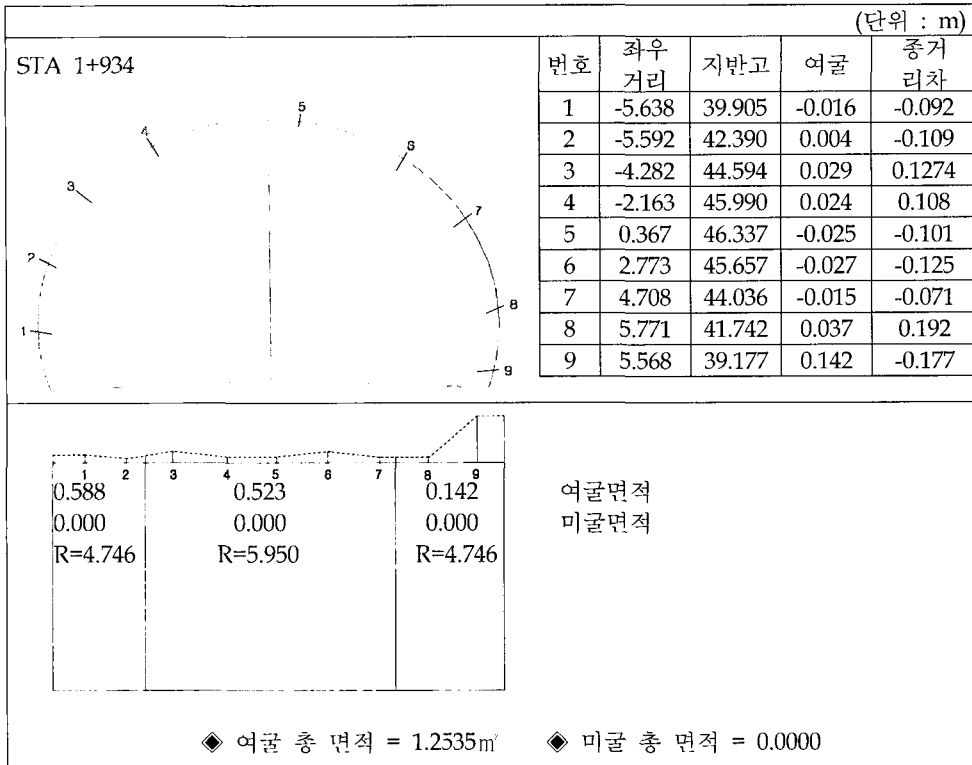


Fig. 4. Overbreak after blasting by multi hole drilling method.

Table 3. Difference of overbreak by drilling method(STA. 1+862 ~ 1+934)

(단위 : cm)

1단 천공 시 여굴량						다단 천공 시 여굴량					
STA	번호	좌우 거리	지반고	여 굴	종거리차	STA	번호	좌우 거리	지반고	여 굴	종거리차
1+862	1	-5.850	39.150	0.202	-0.084	1+934	1	-5.692	39.920	0.037	-0.158
	2	-5.850	39.150	0.202	-0.084		2	-5.577	42.465	0.006	0.102
	3	-5.860	41.805	0.293	-0.384		3	-4.324	44.660	0.088	-0.370
	4	4.450	44.055	0.264	0.098		4	-2.153	45.995	0.007	0.074
	5	2.228	45.478	0.226	0.031		5	0.452	46.418	0.045	0.176
	6	0.365	45.875	0.218	0.055		6	2.817	45.756	0.062	-0.266
	7	2.876	45.112	0.160	-0.179		7	4.733	44.068	0.013	0.076
	8	4.815	43.410	0.118	0.201		8	5.759	41.761	0.024	-0.086
	9	5.905	41.059	0.172	-0.143		9	5.672	39.168	0.248	0.130
	10	5.686	38.432	0.266	0.172						
여굴량 평균				0.212		여굴량 평균				0.059	

Table 4. Comparison of overbreak by single hole drilling and multi hole drilling

당초 1단 천공시 (단위 : m)		개선 다단 천공시 (단위 : m)	
위 치	발생 여굴량	위 치	발생 여굴량
STA 1+850	0.118	STA 1+920	0.099
STA 1+852	0.150	STA 1+922	0.106
STA 1+854	0.222	STA 1+924	0.120
STA 1+856	0.119	STA 1+926	0.126
STA 1+858	0.208	STA 1+928	0.079
STA 1+860	0.228	STA 1+930	0.092
STA 1+862	0.212	STA 1+932	0.047
STA 1+864	0.211	STA 1+934	0.059
STA 1+866	0.216	STA 1+936	0.077
STA 1+868	0.190	STA 1+938	0.128
STA 1+870	0.132	STA 1+940	0.102
STA 1+872	0.186	STA 1+942	0.143
평균 여굴량	0.183	평균 여굴량	0.098

5. 결 론

점보드릴과 같은 대형 굴착기계로 천공 시 오퍼레이터의 기능 미숙 등으로 인하여 주변공이 평행하지 못하거나 주변공의 각도가 불량, 장약과정에 서 과장약이나 폭약위력이 큰 폭약을 사용할 경우 추가적인 여굴이 발생하게 된다.

본 연구에서는 터널굴착 시 필연적으로 발생할 수 있는 여굴을 저감하기 위하여 새로운 다단천공 방법을 제안하고 이에 대한 분석을 실시하였다. 제안된 다단 천공방법의 적용 시 천공비용은 다소 증가하나 이로 인한 여굴량 감소로 전체 비용은 오히려 감소시킬 수 있을 것으로 기대되며, 터널을 굴착할 때 천공장비나 작업방법에 따라 여굴이 발생하게 되는 기존의 설계에 의한 방법으로 천공한 경우, 시험천공 22m 구간에서 당초 천공방법 적용 시에는 18.3cm 의 여굴이 발생하였으나, 개선 천공방법 적용 시 여굴량은 9.8cm로 당초보다 8.5cm 정도의 여굴이 감소되는 것을 확인할 수 있었다.