

## 터널 공사중 안전성 향상을 위한 임시시설 (환기, 전기) 설계기준 개선 사례



**설운호**  
한국도로공사  
설계처장



**배병훈**  
한국도로공사  
설계처 팀장



**김태건**  
한국도로공사  
설계처 차장



**최형석**  
한국도로공사  
설계처 대리

### 1. 서론

환경 보전, 재산권 보장 등 국민인식의 전환으로, 산지 훼손 및 민원 최소화를 위해 표 1과 같이 최근 고속도로 설계시 터널의 비율은 높아지고 있다.

도로터널의 경우 공용중 전기·환기시설은 세부기준에 따라 적정 조도 확보 및 터널 내 오염물질 배출 등 이용객의 안전성 확보를 위해 설계하고 있으나, 공사중 설치되는 전기·환기시설은 세부기준이 없어, 과거 설계사례를 관례적으로 적용함에 따라 실제 현장과는 상이하게 운용되고 있다.

이에 현행 기준 및 현장 여건을 종합하여 합리적인 세부 설계기준을 수립하고, 이를 통해 공사중인 터널 작업자의 안전성 및 시공성 향상을 유도하였다.

### 2. 현 설계기준 및 문제점

공사중 임시시설에 대한 설계기준은 표 2, 표 3에 나타내었다. 공사중 환기시설은 표 2에서 보는 것처럼 기본적인 개념만 제시될 뿐 환기시설의 최소 적용연장, 가동시간, 풍관적용 연장 등 세부적인 설계 기준은 부재한 상태이다.

표 1. 최근 설계 노선별 터널비율

구 분	밀양-울산	부산외곽	울산-포항	상주-영덕	동홍천-양양	비고
노선연장(km)	45.2	48.8	53.7	107.6	71.7	
터널연장(km)	26.2	21.0	24.5	34.7	43.6	
터널비율(%)	58.0	43.0	45.6	32.2	60.8	

공사중 전기시설의 경우 표 3과 같이 터널 내 임시조명의 조도기준이 기관별로 상이하여 적정 광원 선정에 애로가 있다. 또한 전기인입시설, 전선케이블 등 부속시설에

대한 기준이 모호하여 세부적인 검토 없이 과거 사례만으로 설계가 이루어짐에 따라 현장에서 필요한 적정공사비가 확보되지 못하는 등 문제점이 발생하고 있다.

표 2. 임시환기시설 설계기준 현황

구 분	내 용	비 고
터널설계기준 (2007)	- 환기설계 계획시 기본 개념 제시(병행되는 작업 중 최대값) - 환기량 계산식 및 세부 기준 미제시	
도로설계편람 (2011, 터널)	- 개별 환기량 계산식 및 축류팬, 풍관 등 산정식 제시 - 환기방식의 개요 및 장단점 제시	
국도건설공사 설계실무요령 (2008)	- 임시환기설비 제원 제시(동일 규격 일괄 적용) - 작업일수 제시(굴착일과 동일)	
한국도로공사	- 임시환기 관련 기준 미제시	

표 3. 임시전기시설 조도기준 현황

구 분	국토부 터널표준시방서	노동부 터널공사표준안전작업지침	한국도로공사 고속도로전문시방서
막장 및 작업구간	70 lux	60 lux	70 lux
통로구간	50 lux	50 lux	10 lux
입·출구부	30 lux	30 lux	-

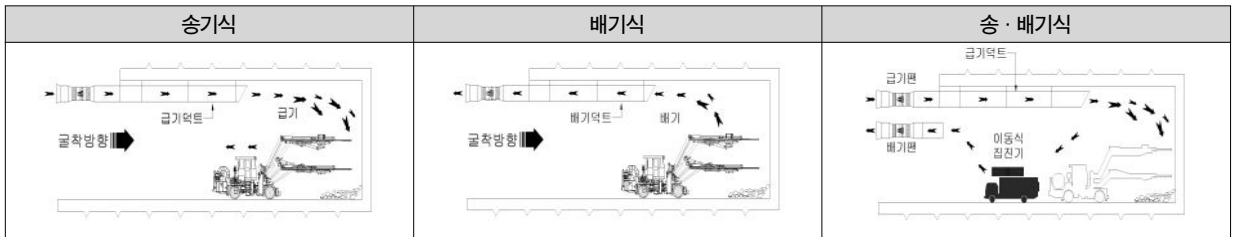


그림 1. 터널 환기방식 개념도



그림 2. 임시환기시설 현장 적용 사례

### 3. 현장조사 결과

2013년 상반기 시공 중인 117개의 고속도로 터널에 대해 현장 조사를 실시하였다. 임시환기시설의 경우 그림 1처럼 3가지 방식으로 설계가 이루어지나, 그림 2 및 3처럼 실제로는 사갱 등 극히 일부 현장을 제외하고는 연장과 관계없이 거의 모든 현장에서 송기식을 적용하였다.

축류팬의 경우에도 설계시에는 동일한 규격으로 적용 대수를 늘려주는 방식을 취하지만 현장에서는 그림 4처럼 1대를 사용하며, 축류팬의 용량을 키워주는 방식을 적용하였다. 또한 설계시 연장 200m 이하에서는 자연환기를 채택하고 있으나 200m 이하인 60%의 현장에서 임시환기시설을 적용하고 있었으며 조사결과 95%의 현장에서 굴착 연장 100m 이내에서 임시환기시설을 최초 설치하였다.

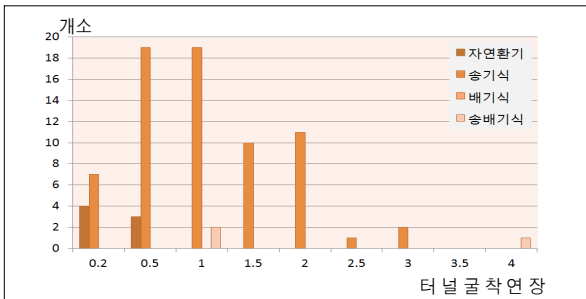


그림 3. 환기방식 적용 현황

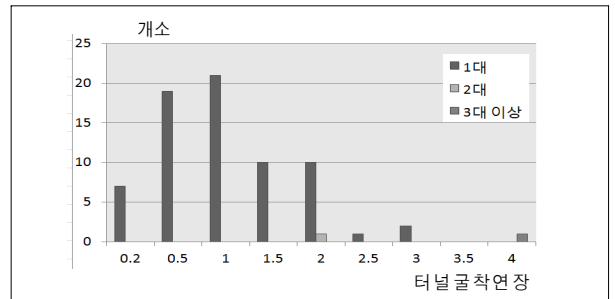


그림 4. 축류팬 적용 현황

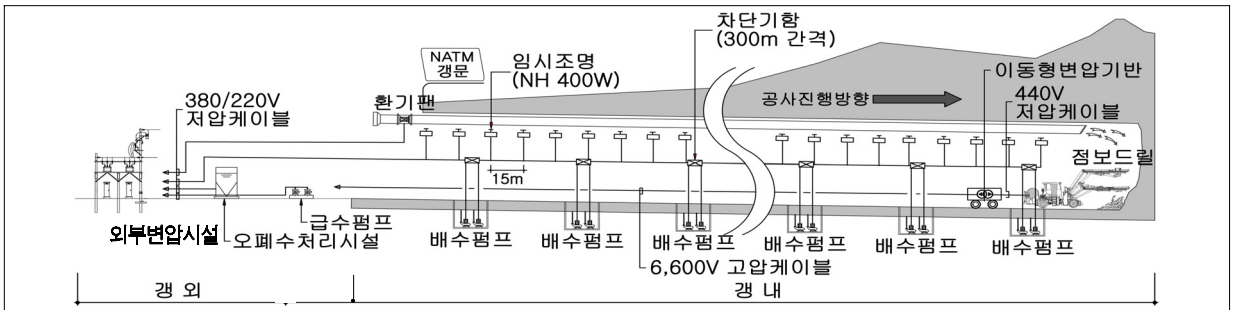


그림 5. 터널 임시전기시설 개념도



그림 6. 통로구간 임시조명 현장사례



그림 7. 막장면 임시조명 현장사례

임시전기시설은 그림 5의 개념도처럼 갱내, 갱외시설로 분류되며 갱내시설은 임시조명시설(그림 6, 그림 7)이 대표적이다. 임시조명 실측값은 측정 위치에 따라 결과가 달라지므로, 실측결과 및 보정값(광원 및 설치간격에 따른 조도 계산값)을 그림 8에 나타내었으며, 통로부 광원은 그림 9에서처럼 고압나트륨등을 가장 선호하는 것으로 나타났다. 갱외시설은 대표적으로 전기인입시설이 있으며, 일정 인입거리를 미반영하는 등의 문제점을 발견하였다. 또한 수배전반, 점보드릴용 케이블 등 일부시설이 설계시 누락되어 있음을 확인하였다.

## 4. 설계기준 개선

### 4.1 임시환기시설

임시환기시설 설계시 용량 산정기준이 되는 소요환기량을 명확히 하기 위해 (식 1)처럼 개념을 수식화 하였으며, 세부 산정식은 도로설계편람(국토부)에서 제시하는 식을 준용하였다. 일반적으로 Q2는 발파, Q3는 버력처리, Q4는 숯크리트 타설과 관련이 있음을 감안하여 동시작업이 가능한 공종을 구성하였고, 그 중 가장 크게 발생하는 환기량을 소요환기량으로 선정하였으며, 이를 바탕으로 적절한 축류팬 풍량·풍압·동력, 풍관직경 등을 산

정하여 원활한 환기가 이루어지도록 하였다.

$$Q_{req} = Max(Q_2, Q_1 + Q_3, Q_1 + Q_4) \quad (\text{식 1})$$

여기서,  $Q_{req}$  = 소요환기량( $m^3/min$ )

$Q_1$  = 터널 내 작업원이 필요로 하는 환기량 ( $m^3/min$ )

$Q_2$  = 발파후 가스에 대한 필요 환기량 ( $m^3/min$ )

$Q_3$  = 내연기관을 사용하는 경우의 환기량 ( $m^3/min$ )

$Q_4$  = 분진에 대한 환기량( $m^3/min$ )

- ※ 암반 및 지반 자체의 유독가스 발생이 예상되는 경우 추가 검토
- ※ 유해가스 규제농도 등 관련 기준 변경시 변경된 기준 적용

이와 함께 현장 여건을 반영하여 표 4처럼 세부적용기준을 수립하였다. 현장조사 결과 시공시 사갱을 제외한 도로터널 본선에 배기식, 송·배기식을 적용한 사례가 거의 없고, 굴착연장 100m 이내에서 환기시설이 최초 설치되는 것을 감안하여 100m 이상은 송기식을 적용하였다.

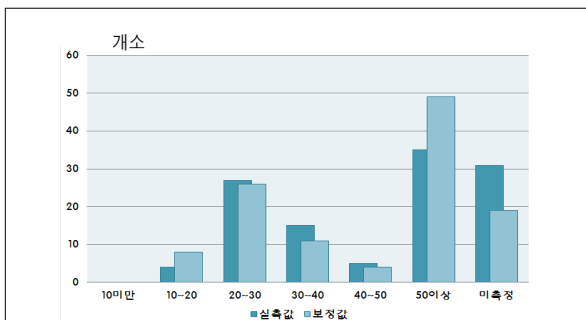


그림 8. 현장 조도 측정 결과

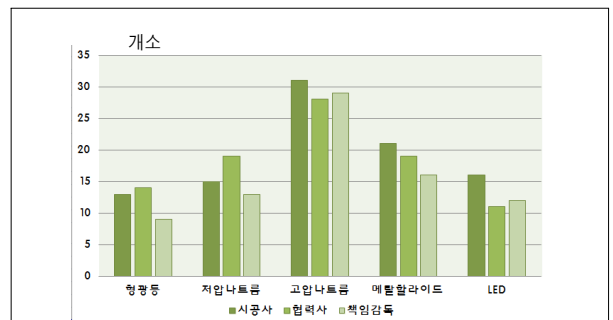


그림 9. 통로부 조명등 선호도

표 4. 임시환기시설 세부기준

구 분	내 용
환기방식	- 100m 이상 송기식 적용 - 사갱 등 특수여건 별도 검토
분진저감시설	- 현장 여건에 따라 설계자 판단 (민원, 토사성분 과다지반 등)
축류팬	- 소요환기량에 따른 적정용량 1대 반영 - 가동시간 20시간/일 반영

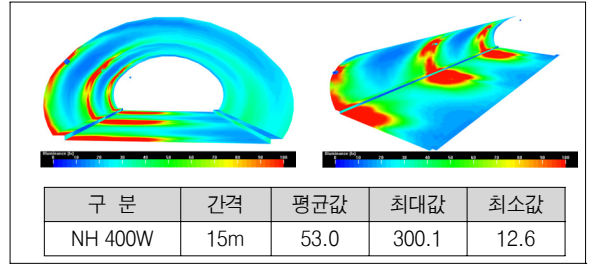


그림 10. 조명등 시뮬레이션 결과

분진저감시설(이동식집진기, 이동식살수분무시스템 등)은 연장기준보다 현장 특성에 따라 일부 현장(대안공구 등)에서 반영되고 있음을 감안하여 현장 여건에 따라 설계자가 판단하여 적용토록 하였고, 축류팬은 터널별 소요 환기량에 따른 적정용량을 산정하여 1대를 반영하도록 개선하였다. 또한 현장에서 발파시에는 축류팬 가동을 중지함에 착안하여 일적용시간을 20시간으로 변경하였다. 개선된 터널연장별 임시환기시설 설계사례는 표 5와 같다.

## 4.2 임시전기시설

기관별 조도기준 중 가장 안전측인 터널표준시방서(국토부)를 기준으로 조도기준을 상향하여 공사중 안전성을 향상시켰다. 이를 위해 국가정책 및 현장조사 결과를 반영하여 고효율 조명등을 선정하였고, 조명등의 설치위치 및 간격을 결정하기 위해 그림 10과 같이 시뮬레이션 및 계산식을 사용하였으며 결과는 표 6에 나타내었다.

전기인입시설의 경우 기본시설 및 거리시설로 분류할

표 5. 연장별 임시환기시설 설계사례

구 분	굴착연장 (m)							
	100	500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	
굴착기간 <sup>주1)</sup>	1개월	5개월	10개월	15개월	20개월	25개월	30개월	
환기방식 <sup>주2)</sup>	자연환기	송기식	송기식	송기식	송기식	송기식	송기식	
축류팬 <sup>주3)</sup>	풍량(m <sup>3</sup> /분)	-	554	603	661	731	818	929
	풍압(mmAq)	-	74	118	146	167	190	221
	동력(kW)	-	11	18	25	31	40	52
	수량(개)	-	1	1	1	1	1	1
비닐풍관 <sup>주4)</sup>	규격(mm)	-	1,100	1,200	1,300	1,400	1,500	1,600
	수량(m)	-	470	970	1,470	1,970	2,470	2,970
전력비	금액	- 사용요금 = 소요동력 x 사용요금 x 20시간/일 x 사용기간(개월) ☞ 사용기간 = 굴착기간 - 1개월(100m 굴착후부터 축류팬 설치)						
비 고		- 비닐풍관길이 = 굴착연장 - 30m(막장 이격거리) - 분진저감장치 : 민원, 원활한 분진 처리 여부 등 설계자 판단하에 적용						

주1) 굴착기간은 전구간 Type-3(굴진장2m), 2발파/일 로 가정하여 개략 산정

주2) 굴착연장 3km 초과 구간은 현장 여건에 부합하는 환기방식 및 축류팬, 풍관 규격 등을 별도로 산정하여야 함

주3), 주4) 단순 참고자료로, 현장 적용시에는 실제 계산값을 사용해야 함

표 6. 임시전기시설 조도개선

구 분	통로 구간	막장 및 작업장
적용 사진		
광원(조명)	나트륨등 NH 400W	Halogen 1000W
간격(개수)	15m 1개	막장당 8개
방식	벽면 한쪽 1열	이동식 (소형)
높이	노면위 4m 이상	
계산값	50 lux 이상	70 lux 이상

표 7. 임시전기시설 세부기준

구 분		내 용
전기 인입 시설	기본 시설	점보드릴, 임시전구, 급배수시설, 슛크리트B/P, 임시환기시설, 폐수처리시설 (사용예상 전체 kW 반영)
	거리 시설	전체거리 반영
부속시설		조명등 및 전선케이블, 급배수펌프, 수배전반, 점보드릴용 전선케이블

수 있는데, 기본시설은 터널공사시 사용 예상되는 최대소요전력량, 거리시설은 인근 전주에서 터널 입구까지의 거리와 관련되어 있다. 기본시설의 경우 과거에는 소요전력량 산정시 점보드릴과 임시조명 등 일부시설만 반영하였으나 실제 소요항목을 모두 도출해 추가하였고, 거리시설은 실제 필요한 전연장을 적용할 수 있도록 개선하였다. 또한 임시전기시설 시공시 필요한 부속시설을 검토하여, 세부 설계기준을 표 7과 같이 정리하였다.

## 5. 맺음말

터널 임시시설은 최종 성과물이 아니라 공사완료시 철거되는 시설물로 설계시 크게 주목하지 않는 분야였으나, 공사중 작업자의 안전성과 직결되어 있고 시공성과 연계되어 궁극적으로 터널 품질을 향상시킬수 있는 분야이기 에 많은 관심을 가져야 할 것이다.

- (1) 터널 공사중 환기시설 규모를 결정하는 소요환기량 개념을 명확히 하여 식으로 제시하였고, 이에 따라 설계시 적정용량의 환기시설이 반영될 수 있도록 하였다.
- (2) 터널 임시조명은 국가정책 및 현장조사결과를 반영하여 고효율 조명등으로 변경하였다. 또한 선정된 조명등을 적용하여 시뮬레이션, 조도계산 등을 통해 적정 배치기준을 산정하였다.
- (3) 고속도로 117개 건설현장의 의견조회 및 현장조사를 통해 실제 현장여건을 반영한 임시전기·환기시설 세부설계기준을 수립하였다.

현재 국내의 터널기술은 그간의 경험을 바탕으로 세계적인 수준에 이르게 되었으며 수많은 시공사례는 합리적인 설계의 밑거름이 되고 있다. 따라서 현재까지 축적된 시공 자료를 이용하여 그간 도외시되었던 분야의 설계기준을 꾸준히 정립해 나가는 것은 터널분야에서 세계 최고 수준으로 나아가기 위해 반드시 필요한 과정이라고 생각 된다.