지하고속도로 설계기준 신/구 대조표

○ 설계기준 자동차

現 기준

◦ **도로의 구조 · 시설 기준에 관한 규칙 및 동 해설(2020)**

* 제5조(설계기준자동차)

도로의 기능별 구분	설계기준 자동차
주간선도로*	세미트레일러

* 주간선도로 : 고속국도, 일반국도, 특별시도 · 광역시도

다만, 우회할 수 있는 도로(해당 도로 기능이나 그 상위 기능을 갖춘 도로만 해당한다)가 있는 경우에는 도로의 기능별 구분에 관계없이 대형자동차나 승용자동차 또는 소형자동차를 설계기준 자동차로 할 수 있다. 소형자동차의 제원(諸元)은 다음 표와 같다.

제원(미터)						
폭	높이	길이	축간거리	앞내민길이	뒷내민길이	최소회전반경
2.0	2.8	6.0	3.7	1.0	1.3	7.0

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] 세미트레일러(전차종) 또는 **소형자동차**를 **설계기준 자동차**로 적용

* **주간선도로 기능**을 **수행**하는 **지하도로**는 **소형차 전용**을 **원칙**으로 하되, **물류 간선기능, 도시재생 등**이 **강조되는 구간**에 한해 **전 차종 이용**을 **검토**하는 것이 바람직

◦ 소형자동차 제원은 기존 기준 준용

◦ 소형차 전용 지하고속도로 이용차종 (자동차관리법 시행규칙 제2조 등)

- (승용차) 대형 승용차 포함 전 종 이용가능(10인승 이하 승합 포함)
- (승합차) 11~15인승 중 길이 4.7m, 너비 1.7m, 높이 2.0m 이하
- (화물차·특수차) 최대적재량 1.0톤 이하, 총 중량 3.5톤 이하

개선 사유

- **(도심 차종구성 측면) 대도시권 주요도로**는 **소형차비율**이 **85% 이상**이고, 서울도심 등은 화물차 통행제한이 있어 **소형차 전용**으로 **계획 시에도 교통문제 해결** 가능
- **(재난안전 측면)** 소형차 대비 중차량 화재강도(6배 이상)와 연기발생량(4배 이상)이 월등하여 **전 차종 이용 시 대형 인명사고 위험 증가**
- **(교통안전 측면)** 지하도로 내 **화물차 혼입 시** 소형차와의 속도차이로 **교통사고 위험 증가 및 사고 시 치사율 급증**(치사율 : 화물차 원인 1.34%, 승용차간 0.29%)
- **(사업추진 측면)** 소형차 전용 대비 **전 차종 터널**이 터널 간 이격거리(1.5D)를 고려한 **점유폭이 넓어 사유지 침범**에 따른 **민원 우려 큼**

  또한, 도심 공간 부족, 화물차 진출입에 따른 민원 등을 고려할 때 소형차 전용 터널이 사업추진에 유리
- **(경제성 측면) 전 차종 터널**은 **소형차 전용 대비** 구조물 단면적이 약 46% 커서 **공사비는 14% 가량 증가**(4차로 기준)
- **(환기·방재설비) 전 차종 터널**은 평시 오염물질 배출량 증가, 화재 시 연기발생량 증가 등으로 **환기·방재시설 대형화 불가피**

○ 설계속도

現 기준

◦ **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동 해설(2020)**

* 제8조(설계속도)

도로의 기능별 구분		설계속도(킬로미터/시간)			
		지방지역			도시지역
		평지	구릉지	산지	
주간선도로	고속국도	120	110	100	100
	그 밖의 도로	80	70	60	80

다만, 지형 상황 및 경제성 등을 고려하여 필요한 경우에는 표의 속도에서 시속 20킬로미터 이내의 속도를 뺀 속도를 설계속도로 할 수 있다.

◦ **도시지역 지하도로 설계지침(국토부, 2016)**

* 도시지역 내 도로만을 대상, 도시고속도로 설계속도 80km/h 적용 (이동성보다는 안전한 교통처리에 중점)

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선]

① 주간선도로로서 **고속국도**의 **기능을 수행**하는 **지하도로**의 **설계속도**는 **시속 100 킬로미터 이상**으로 한다.

② 다만, 제1항에도 불구하고 **안전성, 경제성 및 공간적 특수성 등**을 **고려**하여 **필요한 경우**에는 **시속 20킬로미터 이내**인 범위에서 **낮추어 적용**할 수 있다.

개선 사유

- **지하고속도로**는 원활하고 빠른 **이동성을 주목적**으로 하는 **최상위 도로**임을 감안하여 설계속도 선정 필요
- 상부 도로 대비 경쟁력 확보 고려, **지하고속도로**가 **접속**하는 **상부 도로 여건**에 따른 **조건** 반영
  - **입체적 확장**(상부 고속도로+지하고속도로) : **상부 도로 대비 경쟁력** 있는 설계속도 검토·적용
    ☞ 지하공간 단점 극복 및 수요창출 등 목적으로 지상도로와 동등 이상
  - **지하화**(상부 일반도로+지하고속도로) : **수요, 안전 및 경제성** 등 고려한 설계속도 검토·적용
    ☞ 지하고속도로 설계속도를 지상도로 여건 등 고려하여 설정, 필요한 경우 설계속도 또는 운영속도 하향 조정
- 지하고속도로의 경우 평지/산지의 구분 불필요

○ 차로(차로의 폭)

<table>
<tr><th>現 기준</th><th>지하고속도로 설계기준(안)</th></tr>
<tr><td>◦ 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)
* 제10조(차로)
<table><tr><th rowspan="2">설계속도
(킬로미터/시간)</th><th colspan="3">차로의 최소 폭(미터)</th></tr><tr><th>지방지역</th><th>도시지역</th><th>소형차도로</th></tr><tr><td>100 이상</td><td>3.50</td><td>3.50</td><td>3.25</td></tr><tr><td>80 이상</td><td>3.50</td><td>3.25</td><td>3.25</td></tr></table>다만, 설계기준자동차 및 경제성을 고려하여 필요한 경우 : 3미터
◦ 도로설계요령(도로공사, 2009) : 3.6m(고속도로)</td><td>◦ [준용] 전 차종 3.50m, 소형차 전용 3.25m 적용
* 경제성 및 설계자의 판단을 고려 전 차종 최소기준은 3.5m 적용</td></tr>
<tr><th colspan="2">준용 사유</th></tr>
<tr><td colspan="2">• 국내 고속도로에서 준용 중인 차로폭 3.6m는 feet 단위를 환산한 것이며, m 단위를 사용하는 대부분의 국가(일본 및 독일 등)에서는 3.5m 사용
• 소형자동차의 고속도로 설계기준 폭
- 세미트레일러 설계 기준폭 대비 0.50m 축소, 속도(80km/h 이상)에 대한 안전을 고려한 폭 0.25m를 추가하여 산정된 기준
- 설계 기준폭 2.00m에 설계속도별 안전여유 거리 1.25m(70km/h 이상, 독일 RSA 규정)를 고려하여도 동일한 차로폭 산정
• 지하내부에 분·합류를 갖는 세계 41개 터널에 대한 조사결과 약 60%의 터널이 차로폭 3.50m 적용 (PIARC, 2016)</td></tr>
</table>

○ 길어깨

現 기준

◦ **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)**

* 제12조(길어깨)

길어깨의 폭은 설계속도 및 지역에 따라 다음 표의 폭 이상으로 해야 한다.

설계속도 (킬로미터/시간)	길어깨의 최소 폭(미터)				
	오른쪽			왼쪽	
	지방지역	도시지역	소형차도로	지방지역 및 도시지역	소형차도로
100 이상	3.00	2.00	2.00	1.00	0.75

터널, 교량, 고가도로 또는 지하차도에 설치하는 길어깨의 폭은 설계속도가 시속 100킬로미터 이상인 경우에는 1미터 이상으로 할 수 있다. 다만, 길이 1천 미터 이상의 터널 또는 지하차도에서 오른쪽 길어깨의 폭을 2미터 미만으로 하는 경우에는 750미터 이내의 간격으로 비상주차대를 설치해야 한다. 길어깨에는 긴급구난차량의 주행 및 활동의 안전성 향상을 위한 시설의 설치를 고려해야 한다. (신설 2020. 3. 6.)

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] **오른쪽 길어깨 전 차종 2.50m**, 소형차 전용 2.00m 이상 적용

지하고속도로의 차도 오른쪽에 설치하는 길어깨의 폭은 설계기준자동차에 따라 다음표의 폭 이상으로 하여야 한다.

도로의 구분	설계속도 (킬로미터/시간)	차도 오른쪽 길어깨의 최소폭(미터)	
		전 차종	소형차도로
지하고속도로	100 이상	2.50	2.00

다만, **편도 3차로 이상**의 지하고속도로인 경우에는 **오른쪽 길어깨 폭을 1.0미터 이상**으로 **적용**할 수 있으나 **오른쪽 길어깨 폭을 2미터 미만**으로 하는 경우에는 **750미터 이내 간격**으로 **비상주차대**를 **설치**하여야 한다. 또한 길어깨에는 긴급구난차량의 주행 및 활동의 안전성 향상을 위한 시설의 설치를 고려해야 한다.

◦ [준용] **왼쪽 길어깨** 전 차종 1.00m, 소형차 전용 0.75m 이상 적용

개선 및 준용 사유

- 고속도로는 '96년부터 터널 내 우측길어깨 **폭 2.5m 적용**(설계개16210-260('96.8.22.))
- '13년부터는 **장래교통량** 및 **경제성 등 고려** 터널 내 우측 길어깨 폭 **결정**(설계처-3350('13.11.11))
  - **비상차로 설치 필요시 2.5m, 비상차로 미 설치시 1.0m** 적용, **개별 노선 설계시** 교통특성 및 경제성 등을 종합적으로 고려하여 **노선별 별도의 방침 수립**
- **(우측 길어깨)** 유고 시 **긴급차량 통행** 및 **고장차 정차 조건, 경제성**(붙임 참조 : 길어깨폭 증가에 따른 공사비) **등 고려**
  - (전 차종) **오른쪽 길어깨 폭원(2.5m)**은 **유고 시 긴급차량의 통행** 및 **고장차의 정차**를 위해 **설계기준 자동차**의 **최대 폭원(2.5m)**을 **길어깨로 확보**한 것
    ☞ 전폭 길어깨 S=2.50~3.25m : 모든 차량이 일시정지 가능
  - (소형차) **오른쪽 길어깨 폭 2.0m(소형차 도로)**은 **1,2차로 차량이 좌측으로 이동**해줄 경우 **비상차량이 통행 가능한 폭원을 확보**한 것
    ☞ 1차로 차량의 이동 없이 2차로 차량이 노면 표시선까지 이동할 경우 ☞ **비상차량(대형 자동차, 폭원 2.5m) 통행 가능**
    ☞ 이상적인 조건으로 1차로 및 2차로의 차량이 대피할 경우 ☞ **비상차량 이동을 위한 여유폭 약 3.5m 발생**
  - (3차로이상 터널) **유사 시 1개 차로**를 **비상차로**로 **사용**이 **가능**하므로 **폭 1.0m 적용**
- **(좌측 길어깨)** 긴급차량 통행 또는 고장차량 대피의 목적보다는 **측방여유**를 **확보**하는 것이 **주 목적** ☞ **현행 기준 준용에 문제 없음**

○ 시설한계

現 기준	지하고속도로 설계기준(안)
◦ **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)** * 제18조(시설한계) ① 차도의 시설한계 높이는 4.5미터 이상으로 한다. 다만, 다음 각 호의 구분에 따라 시설한계 높이의 하한을 낮출 수 있다. 2. 소형차도로인 경우 : 3미터 이상	◦ [준용] 전 차종 : 4.5m 이상, 소형차 전용 : 3.0m 이상 지하고속도로의 시설한계 높이는 전 차종 적용 조건의 경우 4.5미터 이상으로, 소형차 전용 지하고속도로는 3.0미터 이상으로 하여야 한다.

준용 사유

- 시설한계 4.5m 설정 근거 : **전차종 높이 제원 4.0m**에 적설에 의한 한계높이 감소, **포장 덧씌우기 등 고려 4.5m 적용**
- 소형차도로 시설한계 3.0m 설정 근거 : **소형차 높이 제원 2.8m**에 **주행차량이 튀어 오르는 경우 고려 3.0m 적용**
- 현행 고속도로 터널은 내공변위, 포장 덧씌우기, 터널 내 추가 공간 확보 어려움 등을 고려하여 일반적으로 최소기준에 0.3m의 여유고를 추가 반영하여 설계(전 차종 4.8m / 소형차 3.3m)
- **해외 사례** 검토 결과, **전 차종**도로의 경우 **4.50m~5.30m**, **승용차 전용** 도로에서는 **2.00m**의 **낮은 시설한계 높이 적용** 사례 있음
- **터널(지하도로)**은 단면 크기가 한정된 영구 구조물이며 **포장 등 유지보수**에 대한 **제약** 존재, **하지만 시설한계**는 **단면결정에 큰 영향**을 미치는 절대적인 요소이므로 **경제성과 밀접한 관계**가 있음
  - **(전 차종)** 4.5m 대비 4.8m 적용 조건 : **단위공사비(원/m) 약 5% 증가**(2차로 기준) ☞ 공사비 2조의 사업의 경우 공사비 1,000억원 증가
  - **(소형차 전용)** 3.0m 대비 3.3m 적용 조건 : **단위공사비(원/m) 약 3.5% 증가**(2차로 기준) ☞ 공사비 2조의 사업의 경우 공사비 700억원 증가
- 안전 및 주행 쾌적성 확보 측면에서는 **가급적 큰 시설한계 확보가 바람직하나, 現 규칙**에 규정된 시설한계 높이도 **안전성**을 **충분히 고려**하여 **반영한 수치**
- **경제성을 고려**할 때 **기준에서는 최소한의 기준을 규정**하고 각 **사업별** 특성 등을 고려하여 **필요시 시설한계 높이**를 **키우는 방향**으로 **기준을 수립**함이 타당함

○ 시거

現 기준

◦ 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)

* 제24조(시거)

- 정지시거 = 반응시간 동안의 주행거리 (주행속도에 비례) + 제동정지거리 (마찰계수에 반비례)

《 일반구간 》

- (마찰계수) **노면습윤상태** 종방향미끄럼마찰계수 적용,
- (주행속도) 설계속도에 따라 **85%~90% 값을 주행속도**(정지시거 산정에 반영)로 적용(설계속도≠주행속도)

설계속도 (킬로미터/시간)	최소 정지시거 (미터)	설계속도 (킬로미터/시간)	최소 정지시거 (미터)
110	185	60	75
100	155	50	55
90	130	40	40
80	110	30	30
70	95	20	20

《 터널구간 》

- (마찰계수) **노면건조상태**의 종방향미끄럼마찰계수 적용
- (주행속도) 설계속도의 100% 값을 적용

설계속도 (킬로미터/시간)	최소 정지시거 (미터)	설계속도 (킬로미터/시간)	최소 정지시거 (미터)
110	165	60	70
100	140	50	55
90	120	40	40
80	100	30	30
70	85	20	20

《종단경사에 따른 정지시거 증감》

- 규칙본문에는 없고 해설에만 언급되어 강제성 부족

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선]

[기준안 1] 터널 내 정지시거 계산을 위한 **마찰계수와 주행속도 현실화**

* U-Type 구간 ~ BOX 구간 시점부터 500m 까지

- **(마찰계수)** 터널 내이지만 건조가 아닌 **습윤마찰계수 적용**
- **(주행속도) 설계속도의 100% 값을 그대로 적용**

설계속도 (km/h)	(A) 現기준		(B) 기준(안)		차이(B-A), m
	운행속도	정시시거	운행속도	정시시거	
110	93.5	185	110	245	60
100	85.0	155	100	205	50
90	76.5	130	90	170	40
80	68.0	110	80	140	30
70	63.0	95	70	110	15
60	54.0	75	60	85	10
50	45.0	55	50	65	10
40	36.0	40	40	45	5
30	30.0	30	30	30	0

* BOX(Box 구간 시점 ~ 500m 구간 제외) 및 굴착 터널 구간

- **(마찰계수) 건조마찰계수**를 **16% 감**하여 적용
- **(주행속도) 변경 없음(설계속도의 100% 값을 그대로 적용)**

설계(운행) 속도(km/h)	(A) 現기준		(B) 기준(안)		차이(B-A), m
	f(건조)	정시시거	f(건조)	정시시거	
110	0.55	165	0.46	180	15
100	0.56	140	0.47	155	15
90	0.57	120	0.48	130	10
80	0.58	100	0.49	110	10
70	0.59	85	0.50	90	5
60	0.60	70	0.50	70	0
50	0.61	55	0.51	55	0
40	0.63	40	0.53	40	0
30	0.64	30	0.54	30	0

○ 시거(계속)

現 기준

[해설] 각 설계속도에서 **종단경사에 따른 정지시거의 증감량**은 … **내리막 구간의 경우는 기준치보다 증가**하게 되나 **규칙에서 규정한 값은 경사의 영향을 고려치 않고 규정**한 것이므로 **내리막 구간의 경우에는 설계할 때 세심한 주의**를 **기울여야 한다.**

종단경사 (%)	설계속도(km/h) (노면 습윤조건, 설계속도≠주행속도)							
	110	100	90	80	70	60	50	40
0	185	155	130	110	95	75	55	40
-1	190	160	135	110	95	75	55	40
-2	195	165	140	110	100	75	55	40
-3	200	165	140	115	100	80	60	40
-4	205	170	145	115	100	80	60	40
-5	210	175	150	120	105	80	60	40
-6		180	150	125	105	80	60	40
-7				125	110	85	60	40
-8				130	110	85	60	40
-9				130	115	90	60	45
-10					115	90	65	45

종단경사 (%)	설계속도(km/h) (노면 건조조건, $f = f_d$)							
	110	100	90	80	70	60	50	40
0	165	140	120	100	85	70	55	40
-1	165	145	120	100	85	70	55	40
-2	170	145	125	105	85	70	55	40
-3	170	145	125	105	85	70	55	40
-4	170	150	125	105	85	70	55	40
-5	175	150	125	105	85	70	55	40
-6		150	125	105	85	70	55	40
-7			130	105	90	70	55	40
-8				110	90	70	55	40
-9				110	90	70	55	40
-10					90	70	55	40

지하고속도로 설계기준(안)

[기준안 2] 기준안 1)의 조건에 종단경사(특히 내리막) 영향 추가 반영

* U-Type 구간 ~ BOX 구간 시점부터 500m 까지

종단경 (%)	설계속도(km/h) (노면 습윤조건, 설계속도 = 주행속도)							
	110	100	90	80	70	60	50	40
0	245	205	170	140	110	85	65	45
-1	250	210	175	140	115	90	65	45
-2	255	215	180	145	115	90	65	45
-3	260	220	185	150	120	90	65	45
-4	270	225	190	150	120	95	70	50
-5	275	230	195	155	125	95	70	50
-6		235	200	160	125	95	70	50
-7			205	165	130	100	70	50
-8				170	130	100	70	50
-9				175	135	105	75	50
-10				180	140	105	75	50

* BOX (Box 구간 시점 ~ 500m 구간 제외) 및 굴착 터널 구간

종단경사 (%)	설계속도(km/h) (노면 건조조건, $f = f_d - (f_d \times 0.16)$)							
	110	100	90	80	70	60	50	40
0	180	155	130	110	90	70	55	40
-1	185	155	135	110	90	75	55	40
-2	185	160	135	110	90	75	55	45
-3	190	160	135	115	90	75	60	45
-4	190	165	140	115	95	75	60	45
-5	195	165	140	115	95	75	60	45
-6		170	140	115	95	75	60	45
-7			145	120	95	75	60	45
-8				120	95	80	60	45
-9				120	100	80	60	45
-10				125	100	80	60	45

○ 시거(계속)

개선 사유

• **정지시거**에 **영향**을 미치는 주요 인자는 **주행속도, 도로 마찰계수, 종단경사**로 각각 다음과 같이 개선

- **(주행속도) 現 기준**은 **습윤상태**의 종방향미끄럼 마찰계수 적용시 **운전자의 속도 감속 운행**을 **고려**하여 설계속도 대비 **주행속도**를 **10~15% 감하여 적용**하도록 하고 있으나, 다음 사유로 시거 계산 시 **주행속도를 감하지 않고 설계속도를 적용**하는 것으로 **변경**하는 것이 타당

  ① 다수의 **국내/외 문헌**에서 **노면조건에 따른 속도 변화(감속)의 상관성**이 **낮은 것으로 보고 있음**

  * 약한 강우 조건에서는 영향 미미, 속도 감소 원인은 강우조건에 따4른 운전자 시거제약에 의한 것으로 판단(Lamm 등(1990), HCM Vol. 2(2010))
  * AASHTO : 종전에는 평균주행속도가 설계속도의 85%라는 개념을 적용했으나, '01년 이후 관련 연구결과를 반영하여 시거 계산 시 설계속도를 그대로 적용 중

  ② **감사원**에서도 **「도로안전 관리실태(2018.8)」**를 통해 **'정지시거 산정기준 중 차량의 속도 적용 부적정'** 사항 **지적**

  * 서해안고속국도 주행속도 조사·분석(2018) : 많은 양의 비가 와서 **시인성에 문제가 없는 한 설계속도** 또는 **제한 최고속도**를 **초과**하거나 **근접하게 운행**

- **(도로 마찰계수)** 최근 연구결과(도교원, 2020)*에 따르면, **터널 내** 구간은 토공부 대비 **16% 정도 마찰저항 감소**(배기가스 등에 의한 콘크리트 포장의 탄산화 작용 등에 기인), **터널부 진출입 500m 구간**은 토공부 **우천 시 수막노면 조건 미끄럼 저항 값**과 **유사**

  * **고속도로 13개 노선, 연장 1,320km** (토공 971km, 교량 173km, 터널 175km) 미끄럼 조사자료 분석 결과
  * **해외 연구결과도 EOT(End of Tunnel) 구역을 설정**, **노면 습윤조건**을 고려한 **정지시거 할증 개념** 도입(Amundsen and Ranes (2000), Bassan (2016) 등)

☞ **터널 입구 500m 구간 :** 터널 내이지만 건조마찰계수가 아닌 **습윤마찰계수 적용**
터널 내 구간 : 건조마찰계수를 16% 감하여 적용

- **(종단경사 영향)**「**도로의 구조·시설에 관한 규칙**」**해설편에만 관련내용 언급**되어 **강제성이 없음 → 기준 명시를 통해 강제화하여 이용자 안전 확보**

  * 미국(AASHTO, 2018), 호주(Guide to Road Design, 2016) 등 해외에서는 종단경사를 고려한 정지시거 할증 고려
  * **지하도로**는 일반적인 산악터널과 달리 **진출입 구간(본선 및 연결로)**에서의 **큰 종단경사 적용 불가피**

• **다만, 종단경사**를 고려한 **정지시거 할증**까지 **도입**시 **現기준 대비 변화 폭이 크므로 ⇒ 2개안**에 대한 **전문가 의견 수렴** 후 **최종 안 확정**

구 분	정지시거(m)			정지시거 확보 최소평면곡선반지름(m)		
	現기준	기준안1	기준안2	現기준	기준안1	기준안2
U-Type 구간 ~ BOX 구간 시점부터 500m 까지	155	205	235	1,265	2,215	2,910
BOX (Box 구간 시점 ~ 500m 구간 제외) 및 굴착 터널 구간	140	155	170	1,035	1,265	1,525

* (기준안1) 터널 내 정지시거 계산을 위한 마찰계수와 주행속도 현실화 // (기준안2) 기준안1에 종단경사에 따른 시거증가 추가 반영
* 상기 표는 설계속도 100km/h, 종단경사 - 6%, 소형차전용 지하도로의 본선기준 산출결과임

○ 평면곡선 반지름

現 기준

◦ **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동 해설(2020)**

* 제19조(평면곡선 반지름)

차도의 평면곡선 반지름은 설계속도와 편경사에 따라 다음 표의 크기 이상으로 한다.

설계속도 (킬로미터/시간)	최소 평면곡선 반지름(미터) 적용 최대 편경사		
	6퍼센트	7퍼센트	8퍼센트
110	600	560	530
100	460	440	420
90	380	360	340
80	280	265	250
70	200	190	180
60	140	135	130
50	90	85	80
40	60	55	50
30	30	30	30
20	15	15	15

◦ 고속도로 터널구간 평면선형은 가급적 직선 또는 1,800m 이상으로 설계(「터널구간 교통용량 확보방안 검토」(설계처-3990, 2009.07.29.))

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] 지하고속도로 내 터널 벽체로 인한 시거제약 등 고려, 정**지시거 확보를 고려**한 **최소평면곡선반지름 제시**

지하고속도로의 **평면선형**은 **직선구간**을 **활용**하는 것이 좋으며, 직선구간을 활용할 때에는 **앞뒤 선형조건, 지상 구간 및 지하 구조물 간섭 등 상황을 고려**하여야 한다. 또한, **지하고속도로의 평면곡선 반지름**은 벽체에 의한 **시거제약** 등을 **고려**하여 **정시시거 확보를 위한 최소평면곡선반지름 이상**으로 **적용**하여야 한다. 다만, **확폭**을 **통해** 정지시거 확보에 필요한 **시거제약이 없는 경우**에는 **설계속도**와 **편경사에 따른 최소 평면곡선 반지름 이상**으로 **적용**할 수 있다.

* 최소평면곡선반지름

$$R_{h\min} = \frac{(\text{정지시거}, SSD)^2}{8M}$$

* 병렬터널 조건 : 소형차 운행, 좌측방향 곡선구간

적용 차종	M	비고
전차종	2.750	· 두 조건 모두 전방 차량 인지에 가장 불리한 소형차-소형차 상황 적용 · M = 좌측길어깨 폭 + 차로폭/2
소형차전용	2.375	

* 정시시거 확보를 위한 최소평면곡선반지름(m) : 지하고속도로 터널 표준단면 적용

설계속도 (km/h)	개착 U-Type 구간~BOX 구간 시점부터 500m 까지		개착BOX(Box 구간 시점~500m 구간 제외) 및 굴착 터널 구간	
	소형차 전용	전차종	소형차 전용	전차종
110	3,160	2,730	1,710	1,475
100	2,215	1,915	1,265	1,095
90	1,525	1,315	890	770
80	1,035	895	640	550
70	640	550	640	370
60	385	330	385	225
50	225	140	225	140
40	110	75	110	75
30	50	45	50	45

※ **상기 표**의 값은 **종단경사 '0' 조건**에 대한 **최소평면곡선반지름 값**이며, **종단경사에 따른 정지시거 증/감**을 **고려**한 **최소평면곡선반지름 값**은 **별도 표**로 **제시**

○ 평면곡선 반지름(계속)

개선 사유
• **주행 안전 확보, 경제성** 등 고려 **작은 곡선 반지름 지양** - 지하고속도로와 같은 장대터널에서는 작은 곡선 반경의 적용시 **곡선구간에서의 주행 안정성**이 떨어지고 **시거 확보를 위한 터널 확폭**이 **요구**되므로 가능한 **큰 곡선반경 또는 직선**으로 **계획**하는 것이 바람직 * Road Tunnels Manual(PIARC, 2019)에서는 평면곡선 반지름은 550~600m 이상, 측방여유폭은 곡선부에서의 종방향 시계를 고려하도록 권고 • 반면, **획일적인 직선구간 적용**은 **주행 안전성** 확보에 **불리** - 직선길이가 길면 **운전자가 단조롭게 느껴 안전상 문제**(주의력 감소, 졸음운전 및 과속 등)가 될 수 있으며 **직선구간을 가급적 2.0km 이하로 계획**할 것을 **권고** * 강정규 외(2002), 이강민 외(2019), Fitzpatrick, K 외(2000) 등 * 인제터널 설계에서도 평면선형에 따른 졸음도 분석을 통해 장구간 직선을 배제하고 전구간 점진적 곡선변화 노선 채택 • **現기준**에 제시된 **최소 평면곡선 반지름 값**은 **횡방향미끄럼에 안전**할 수 있는 한계치의 **평면곡선 반지름**이며, **터널 내**에서는 **좌우 측벽** 및 부착 시설물로 **인한 시거 제약**이 **발생** ☞ **시거 제약 여건을 고려한 평면곡선반지름의 최소 기준 제시 필요** * (**해외사례**) 노르웨이, 네덜란드 등에서도 **터널 내 시거제약 조건**을 **고려**한 **산정식 제안** 및 **최소평면곡선반지름 최소값 제시** • **본 과업**에서 **개선된 지하고속도로 정지시거**(마찰계수 현실화 및 설계, 주행속도의 동일 적용(기준강화) 등) 기준을 반영한 **평면곡선반지름의 최소 기준 정립**

○ 평면곡선부의 편경사

現 기준

◦ 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)

* 제21조(평면곡선부의 편경사)

① 차도의 평면곡선부에는 도로가 위치하는 지역, 적설 정도, 설계속도, 평면곡선 반지름 및 지형 상황 등에 따라 다음 표의 비율 이하의 최대 편경사를 두어야 한다.

구 분		최대 편경사(퍼센트)
지방지역	적설·한랭 지역	6
	그 밖의 지역	8
도시지역		6
연결로		8

◦ 도로설계요령(도로공사, 2009) 등 고속도로 최대 편경사는 6%로 규정

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [준용] 본선 6퍼센트, 연결로 8퍼센트

지하고속도로 본선의 평면곡선부에는 6퍼센트 이하, 연결로에는 8퍼센트 이하로 편경사를 두어야 한다.

준용 사유

- **편경사**는 **평면곡선부 주행**시 작용하는 **원심력**에 **저항**하기 위해 적용
  - **주행 쾌적성 확보**를 위해서는 **속도가 높을수록 편경사**가 **큰 것이 유리**하나, 편경사가 **너무 큰 경우 횡방향 미끄러짐**에 따른 **안전 문제 발생**
- **(해외 기준)** AASHTO 및 Tunnel Engineering Handbook(John O. Bickel 외, 1996) 등 60mph(약 100km/h) 조건, 최대 편경사는 6% 적용 권장
- **지하고속도로의 예상 교통량** 등 고려 現기준의 **도시지역 최대 편경사 6% 준용**
  - 자동차가 정지하게 될 때 곡선의 안쪽으로 자동차가 미끄러지거나 치우치게 될 우려가 있으며, 이러한 곳에서는 최대 편경사를 6%로 제한하는 것이 도로의 안전성 증진에 도움

○ 종단경사

現 기준

◦ **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)**

* 제25조(종단경사)

종단경사는 … 다음 표의 비율 이하로 해야 한다. 다만, 지형 상황, 주변 지장물 및 경제성을 고려 … 표의 비율에 1퍼센트를 더한 값 이하로 할 수 있다.

– 최대 종단경사(퍼센트)

설계속도 (km/h)	전 차종						소형차도로					
	주간선도로 및 보조간선도로				집산도로 및 연결로		주간선도로 및 보조간선도로				집산도로 및 연결로	
	고속국도		그 밖의 도로				고속국도		그 밖의 도로			
	평지	산지등	평지	산지등	평지	산지등	평지	산지등	평지	산지등	평지	산지등
110	3	5					4	6				
100	3	5	3	6			4	6	4	7		
90	4	6	4	6			6	7	6	7		
80	4	6	4	7	6	9	6	7	6	8	8	10
70			5	7	7	10			7	8	9	11
60			5	8	7	10			7	9	9	11
50			5	8	7	10			7	9	9	11
40			6	9	7	11			8	10	9	12
30					7	12					9	13

※ 산지등 : 산지, 구릉지 및 평지 중 지하차도 및 고가도로 설치가 필요한 경우

◦ **「국도건설공사 설계실무요령**(국토교통부, 2016)」 은 **터널의 종단경사를 2.0~3.0%**, **「도로설계편람**(국토교통부, 2011)」 은 **기계환기를 고려하는 경우 0.2~3.0% 사이** 적용 권고

* 제26조(오르막차로)

① 종단경사가 있는 구간에서 자동차의 오르막 능력 등을 검토하여 필요하다고 인정되는 경우에는 오르막차로를 설치하여야 한다. 다만, 설계속도가 시속 40킬로미터 이하인 경우에는 오르막차로를 설치하지 아니할 수 있다.

② 오르막차로의 폭은 본선의 차로폭과 같게 설치하여야 한다.

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] 종단경사는 **지하고속도로 여건**에 맞도록 **기준 개선**

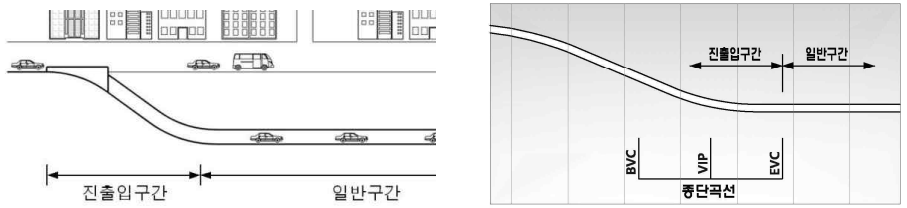
① 지하고속도로의 종단경사는 설계기준자동차 및 설계속도에 따라 다음 표의 비율 이하로 하여야 한다. 다만, 1항에도 불구하고 지형상황, 지장물 및 경제성을 고려하여 필요하다고 인정되는 경우에는 1퍼센트를 더한 값 이하로 할 수 있다.

– 최대종단경사(퍼센트)

설계속도 (km/h)	전 차종			소형차 전용		
	본선		연결로	본선		연결로
	일반구간	진출입구간		일반구간	진출입구간	
110	3	5		4	6	
100	3	5		4	6	
90	4	6		6	7	
80	4	6	9	6	7	10
70			10			11
60			10			11
50			10			11
40			11			12
30			12			13

② 지하고속도로의 종단경사는 원활한 교통흐름, 교통안전 확보, 오염물질 배출 최소화 및 환기설비관련 비용부담을 고려 가급적 낮은 값을 적용하는 것이 바람직하다.

③ 지하고속도로에서의 오르막차로 설치는 경제성 분석 실시 후 결정하되, 오르막차로 설치가 필요한 경우에는 3차로 터널의 표준단면을 적용하고 지하고속도로 구간 내에 오르막차로 종점부를 두지 않도록 한다.



[지하도로 본선 진출입구간 및 일반구간 구분]

○ 종단경사(계속)

개선 사유
• **지하고속도로**는 **대심도로 계획**되며, **도시지역**의 **한정된 공간**에서 **지상도로와 접속**하기 위해서는 **큰 종단경사 적용 불가피** • **(해외 사례) 본선** 최대 종단경사는 **0~8%**이며, **대부분 3~5% 수준**, **연결로(램프)구간은 1~10%**로 **다양하게 분포**하며, 대부분 종단경사는 7% 수준 - 터널에 입출구부가 존재하는 전세계 34개 터널 사례 조사 결과 (PIARC, 2016) - 현재 운영 중 또는 시공 중인 **해외 지하도로**는 **본선기준 대부분 4.5%~6% 종단경사 적용** ☞ 지하도로 건설시 **국지적 지반조건**, 지상 개발여건을 고려한 **구조물간 이격 목적**, 터널 **깊이**와 **개착구간 최소화** 등 고려 **큰 종단경사 적용** • **(경제성) 종단경사**의 **하향 적용**에 따른 **경제성 저하** 우려 - **도심 대심도 터널 공사비**는 **산악 터널 대비 약 2.3배**(산악지 : 268억원/km, 도심지 : 622억원/km) - 입출구부 지하차도(U-Type, Box-Type) 및 가시설 비용이 주요 공사비 증가 요인 중 하나임 ☞ **지하고속도로 특성**을 **종합적**으로 **고려**한 종단경사 기준 적용 필요 • 지하고속도로 **종단선형, 구조적** 및 **위치적 특성** 등 **종합적으로 고려**한 **종단경사 적용 기준 분류** 및 **구분방법 제시** • 지하고속도로에서 **확폭**을 통한 **오르막차**로 설치는 **건설비 증가**와 **직결** ☞ **종단경사**의 **조정**에 따른 **비용**과 **오르막차로 설치** 조건에 대한 **비용 비교** 등 **경제성**에 대해 **면밀히 검토**

○ 횡단경사

現 기준

◦ **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)**

* 제28조(횡단경사)

① 차로의 횡단경사는 배수를 위하여 포장의 종류에 따라 다음 표의 비율로 해야 한다. 다만, 편경사가 설치되는 구간은 제21조에 따른다.

포장의 종류	횡단경사(퍼센트)
아스팔트콘크리트 포장 및 시멘트콘크리트 포장	1.5 이상 2.0 이하

② 보도 또는 자전거도로의 횡단경사는...

③ 길어깨의 횡단경사와 차로의 횡단경사의 차이는 시공성, 경제성 및 교통안전을 고려하여 8퍼센트 이하로 해야 한다. 다만, 측대를 제외한 길어깨 폭이 1.5미터 이하인 도로, 교량 및 터널 등의 구조물 구간에서는 그 차이를 두지 않을 수 있다.

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] 횡단경사는 기존 **기준 준용 및 일부 개선**(기본 : 2.0%, 배수문제 없음 : 1.0~1.5%, 길어깨는 동일 경사 적용)

① 지하고속도로 차도의 횡단경사는 배수를 위하여 **아스팔트 및 시멘트 포장도로의 경우 1.5퍼센트 ~ 2.0퍼센트 이하**로 **적용**하여야 한다. 단, 편경사 설치 구간은 편경사 적용 기준에 따른다.

② 1항에도 불구하고 외부 유입수, 소화설비 배출수 등에 대한 **노면배수에 문제가 없을 경우**에는 주행안전성, 경제성 및 시공성을 고려하여 **1.0퍼센트~1.5퍼센트**의 **횡단경사 적용을 검토**할 수 있다.

③ 지하고속도로 **길어깨의 횡단경사와 차도의 횡단경사**는 시공성, 경제성 및 교통안전을 고려하여 **동일한 경사를 적용하는 것을 원칙**으로 한다.

개선 사유

• **횡단경사**는 노면 위 **우수**를 측구 등으로 **배수**시키기 위함이 설치 **목적**

- 배수측면에서는 큰 횡단경사 적용이 유리하나, 주행 안전 및 쾌적성 측면에서는 작은 횡단경사가 바람직
- 직선구간에서 2% 이상의 횡단경사 적용 시 핸들이 한 쪽으로 쏠림, 급제동 시 한 쪽 방향으로 쏠리는 현상 발생
- 지하고속도로는 기상여건 영향이 거의 없으나, **세척수 배수, 물분무 설비** 또는 **소화설비**에 의해 **배출된 물의 배수** 등 고려한 **횡단경사**는 **적용** 필요

• **해외 적용 현황**

- 미국 AASHTO(2018) : 횡단경사는 배수를 목적으로 설치하며 포장도로에 대해서는 1.5~2.0%을 최소 값으로 규정
- **미국 Roadway Design Manual**(2020, TxDOT) : 2차선 도로 **횡단경사는 2% 적용을 권고하고 있으나 최소 1.0 % 이상을 적용하도록 규정**
  * 횡단경사 설치 목적을 고려하여 TEXAS의 기후여건 등 반영, 1.0%까지 완화하여 적용 가능
- 일본 도로구조령(2019) 포장도로의 횡단경사를 1.5% 이상~2.0% 이하로 두도록 규정, 일본 동경환상선 **야마테 터널**은 **최소 기준인 1.5% 적용**

• **횡단경사 하향** 적용에 따른 **효과 : 주행 안정성, 시공성 및 경제성 향상**

* 자동차의 핸들이 한쪽으로 쏠리는 느낌이 적고, 습기 있는 노면에서 횡방향으로 미끄러질 우려를 줄여 주행안전성 측면 유리(특히, 고속주행시)
* 기계화 시공시 효율성 측면 유리, 터널단면 축소를 통한 경제적 효과

○ 입체교차의 연결로(횡단구성)

現 기준

◦ 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)

* 제34조(입체교차의 연결로)

횡단면 구성요소 / 연결로 기 준	최소 차로폭 (m)	길어깨의 최소폭(m)			
		1방향 1차로		1방향 2차로	가감속 차로
		오른쪽	왼쪽	오른쪽·왼쪽	오른쪽
A 기 준	3.50	2.50	1.50	1.50	1.50
B 기 준	3.25	1.50	0.75	0.75	1.00
C 기 준	3.25	1.00	0.75	0.50	1.00
D 기 준	3.25	1.25	0.50	0.50	1.00
E 기 준	3.00	0.75	0.50	0.50	0.75

도로의 설계속도별 적용 기준

상급 도로의 설계속도(킬로미터/시간)		적용되는 연결로의 기준
100 이상	지방지역	A기준 또는 B기준
	도시지역	B기준 또는 C기준
소형차도로		D기준 또는 E기준

[해설] 터널 등 공사비에 큰 영향을 미치는 구간에서 한쪽 방향 1차로의 A기준 연결로를 설치할 경우 우측 길어깨의 폭을 1.50m 까지 줄일 수 있다.

<각 기준의 정의 >

- A기준 : 길어깨에 대형자동차가 정차한 경우 세미트레일러가 통과할 수 있는 기준
- B기준 : 길어깨에 소형자동차가 정차한 경우 세미트레일러가 통과할 수 있는 기준
- C기준 : 길어깨에 정차한 자동차가 없는 경우 세미트레일러가 통과할 수 있는 기준
- D기준 : 길어깨에 소형자동차가 정차한 경우 소형자동차가 통과할 수 있는 기준
- E기준 : 길어깨에 정차한 자동차가 없는 경우 소형자동차가 통과할 수 있는 기준

지하고속도로 설계기준(안)

◦ **[개선]** 연결로 횡단구성은 **안전 및 경제성** 등 **고려**하여 **기준 개선**

지하고속도로 연결로의 차로폭, 길어깨폭은 다음 표의 폭 이상으로 한다. 또한, 지하고속도로는 연결로는 건설 후 교통수요 증가시 차로 확장이 불가하므로 설계 단계에서 추가 차로 확보 필요성에 대해 면밀히 검토하여야 한다. 한편, 연결로의 길어깨는 차도부와 동일 포장으로 한다.

횡단면 구성요소 / 설계기준 자동차	최소 차로폭 (m)	길어깨의 최소폭(m)			
		1방향 1차로		1방향 2차로	가감속 차로
		오른쪽	왼쪽	오른쪽·왼쪽	오른쪽
전 차종	3.50	1.50	1.50	1.50	1.50
소형차도로	3.25	1.25	0.50	0.50	1.00

다만, 향후 교통량 증가에 따른 연결로 차로확장이 필요할 것으로 예상되는 경우에는 1방향 1차로 연결로의 차로폭 및 길어깨 폭을 다음 표의 폭 이상으로 적용할 수 있다.

횡단면 구성요소 / 설계기준 자동차	최소폭(m)					
	1방향 1차로			1방향 2차로(확장 운영)		
	차로	길어깨		차로	길어깨	
		오른쪽	왼쪽		오른쪽	왼쪽
전 차종	3.50	3.00	1.50	3.50	2.50	1.00
소형차도로	3.50	2.50	1.00	3.00	0.50	0.50

개선 사유

- **연결로 폭원**을 **여유롭게 확보**할 경우 **주행 안전성 향상**은 기대할 수 있으나 **경제성 저하** : **지하고속도로**는 **주로 소형차**의 **이용**이 **많을 것**으로 **예상**
  ☞ **지하고속도로**에서 통행량 및 선형조건 등에 대한 고려 없이 **일률적인 A조건 적용 지양**
- **비상 구난차량 운행** 등을 고려한 **연결로 길어깨 최소폭 확보**
  - **(전 차종)** A(7.5m)와 B(5.5m) 중간수준 정도인 **6.5m 적용** → 넉넉하지는 않지만 **차량 한 대 정차 조건**에서 **다른 차량 통행 가능** 수준
  - **(소형차 전용) 길어깨**에 **소형자동차**가 **정차시 소형자동차**가 **통과**할 수 있는 **기준**인 **D기준**을 **최소 기준**으로 확보
- 지하고속도로 **연결로 차로확장 필요시 확장 한계 고려** : 지하고속도로는 **건설 완료 후** 연결로 **추가 확장**이 **현실적**으로 **불가**하므로 **면밀한 검토 필요**
  - **(전 차종) 1차로 조건**으로 1.5m+3.5m+3.0m=**8.0m 확보** → **차로 확장**시 **0.5m+3.5m@2+0.5m(왼쪽 및 오른쪽 길어깨폭을 1방향 2차로 C기준) 적용**
  - **(소형차 전용) 1차로 조건**으로 1.0m+3.5m+2.5m=**7.0m 확보** → **차로 확장**시 **0.5m+3.0m@2+0.5m(1방향 2차로 E기준) 적용**

○ 지하출입시설 변속차로 : 분류부 감속차로

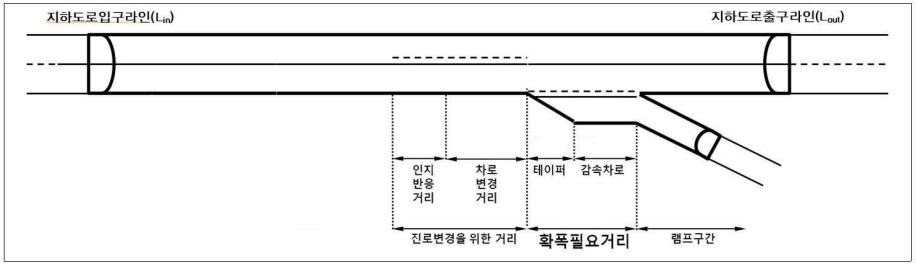
現 기준

◦ **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)**

* **지하도로(터널) 내 변속차로**의 설계에 대한 **별도규정 부재**

◦ **도시지역 지하도로 설계지침(국토부, 2016)**

변속차로 및 테이퍼길이는「도로의 구조 · 시설기준에 관한 규칙」을 준용하도록 한다. 여기에 지하도로에서는 안전성 증대를 위해 운전자 인지반응시간 증대, 진로변경을 위한 거리, 인지반응거리, 미진입 차량을 위한 거리 등을 추가 적용하여 설계하도록 한다.



[감속차로 설계요소]

감속차로장은「도로의 구조 · 시설기준에 관한 규칙」에 따라 차로장을 확보하되 지하공간에서 운전자의 심리적 압박감을 고려하여 할증 적용할 수 있다.

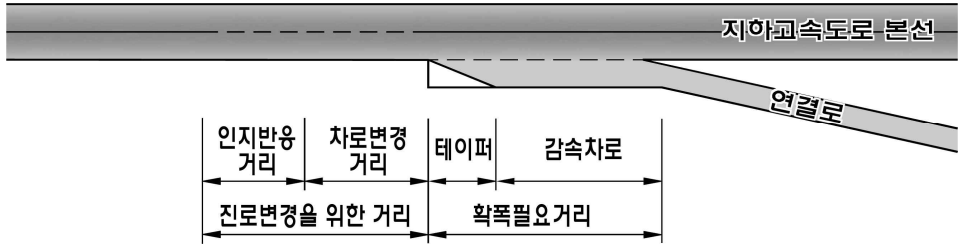
지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] 지하고속도로 내 **변속차로 길이 기준 구체화 및 현실화**

교통안전을 고려하여 **감속차로 형식은 평행식을 사용**하는 것이 **원칙**으로 하며, 본선 설계속도에 따라 다음 표 이상의 값을 적용한다. 다만, 터널 전 구간 **차로변경이 허용된 지하고속도로**에서는 **인지반응거리와 차로변경거리**를 **고려하지 않는다.**

(단위 m)

설계속도 (km/h)		80	90	100	110
인지반응거리 (D_b)		88.9	100.0	111.1	122.2
차로변경거리(D_c)		222.2	250.0	277.8	305.6
테이퍼(D_d)		60	70	70	80
감속차로(D_e)	40	100	120	145	160
	50	90	110	135	150
	60	80	100	120	140
확폭필요거리	40	160	190	215	240
	50	150	180	205	230
	60	140	170	190	220



개선 사유

- 지하고속도로 **분류부 감속차로 형식**을 **평행식 적용**을 원칙 규정
  - (교통안전) 감속차로 전 구간이 동일한 폭으로 구성된 평행식이 유리
  - (교통운영) 감속차로가 교통량을 수용하는 부가차로 역할을 수행할 수 있어 평행식이 유리
  - (시공) 터널 구간 변단면 설계 및 시공 여건 고려 시 평행식 유리
- 기존 「도시지역 지하도로 설계지침」내 산정기준이 불명확한 인지반응거리, 차로변경거리 등 **할증기준 구체화** 및 **설계속도별 최소 기준** 제시
- **교통노면표시 설치·관리 매뉴얼 개정**(경찰청, 2019) 사항 **고려 : 고속도로 내 터널**은 **일정기준**(차로폭, 길어깨 폭, 조명) **충족시 진로변경 허용 차선 설치**
- 지하 내부 접속 조건 고려시 **램프(연결로)구간 조도순응거리** 불필요 → **삭제**

○ 지하출입시설 변속차로 : 합류부 가속차로

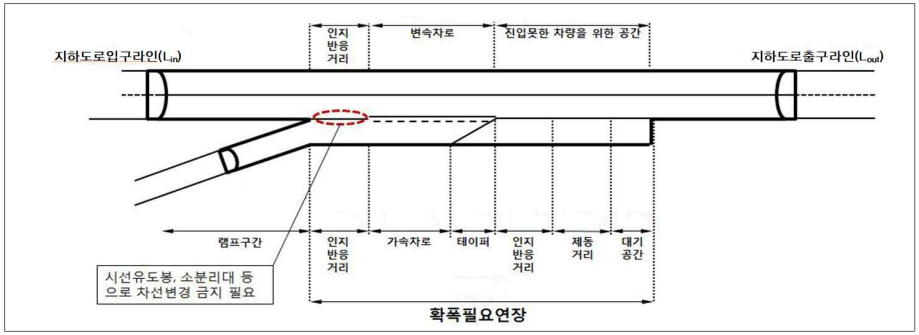
現 기준

◦ **도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)**

* **지하도로(터널) 내 변속차로**의 설계에 대한 **별도규정 부재**

◦ **도시지역 지하도로 설계지침(국토부, 2016)**

변속차로 및 테이퍼길이는「도로의 구조 · 시설기준에 관한 규칙」을 준용하도록 한다. 여기에 지하도로에서는 안전성 증대를 위해 운전자 인지반응시간 증대, 진로변경을 위한 거리, 인지반응거리, 미진입 차량을 위한 거리 등을 추가 적용하여 설계



[가속차로 설계요소]

가속차로장은 「도로의 구조 · 시설기준에 관한 규칙」에 따라 차로장을 확보하되 지하공간에서 본선 주행차량의 시거 불량에 따른 운전자 심리적 영향을 고려하여 할증 적용할 수 있다. 특히 시거확보와 주행 안전성 확보를 위해서 본선 합류부는 일정구간 구조물을 배제하고 안전하게 본선에 유입할 수 있도록 안전시설을 보완하여야 한다.

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] 지하고속도로 내 **변속차로 길이 기준 구체화 및 현실화**

① **가속차로 형식은 평행식**을 **사용**하는 것을 **원칙**으로 한다. 다만, 본선 선형과의 관계에서 직접식으로 하는 것이 접속하기가 쉬운 경우에는 예외적으로 직접식 적용을 검토할 수 있다.

② **가속차로장**은 **본선 설계속도**에 따라 **다음 표 이상**의 **값**을 **적용**한다. 다만, 지하도로 **본선 오른쪽 길어깨의 폭이 2.5m(소형차 전용 2.0m) 이상**일 경우에는 **본선 구간 추가확폭 필요거리**를 **포함**하지 **않는다.**

(단위 m)

설계속도 (km/h)		80	90	100	110
연결로 구간 인지반응거리 (D_c')	40	22.2	22.2	22.2	22.2
	50	33.3	33.3	33.3	33.3
	60	44.4	44.4	44.4	44.4
가속차로(D_e')	40	135	210	300	360
	50	100	175	265	330
	60	55	130	220	285
테이퍼(D_d')		60	70	70	80
확폭필요거리	40	217.2	302.2	392.2	462.2
	50	193.3	278.3	368.3	443.3
	60	159.4	244.4	334.4	409.4
본선구간 추가확폭 필요거리	인지반응거리 (D_c')	66.7	77.8	88.9	100.0
	제동거리(D_b')	24.4	33.8	45.0	69.0
	대기공간(D_a')	31.7 (14.0)			

○ 지하출입시설 변속차로 : 합류부 가속차로(계속)

現 **기준**	**지하고속도로 설계기준(안)**
	③ 본선 진입차량의 충분한 시거확보 및 주행 안전성 확보를 위해서 차선변경 금지구간에 시선유도봉 또는 소분리대을 설치하여야 한다. 차선변경 금지구간거리는 인지반응거리 이상으로 하고 차선도색 2중 실선을 설치한다.

개선 사유

- 가속차로는 감속차로보다 길기 때문에 **직접식**으로 하는 경우 **변이구간**이 **가늘고 길게 되어 지하공간**에서 **접속시 불리** ☞ **평행식 적용**을 원칙으로 규정
- 운전자는 **본선 진입**을 위한 **충분한 가속**(본선 속도와 동등 또는 유사한 속도까지)**전**에 **본선**으로 **진입**하는 **특성** → 본선 **교통흐름 저하** 및 **사고 발생 우려 증가**
  * 시뮬레이터를 이용한 지하도로 합류부 주행특성 분석 결과 (Qiming Yao 등(2018), Christopher Patten 등(2014) 해외 연구사례)

  ☞ **충분한 가속 후 본선 진입 유도를 위한 안전시설(시선유도봉 등) 설치** 및 **설치기준 구체화**
- 現고속도로 **인지반응거리**(확폭거리) **산정 시** 연결로 설계속도 기준이 아닌 **본선 설계속도 기준 적용** → **인지반응거리 과다 산출**
  * 터널내 차로변경 연구결과 및 적용방안 (도로공사, 2012)

  ☞ **연결로 설계속도 적용**을 통해 공학적으로 **합리적인 인지반응거리 산출**
- **추가확폭 필요거리** 반영 적정성 검토 및 **기준 보완**
  - **(필요성) 운전자**의 주행 경로 선택·판단 **실수 가능성**에 대한 **진입**을 **못한 차량**을 위한 **공간 확보**
  - **(문제점) 획일적인 공간 확보**는 터널 굴착 단면 증대 등 **경제성 저하**로 직결 → **설계기준자동차 제원 폭(m) 이상 길어깨 폭 확보** 시 **대기공간 확보 불필요**

  ☞ **대기공간 길이 산정을 위한 오른쪽 길어깨 폭 기준 명시**

○ 지상출입시설

現 기준

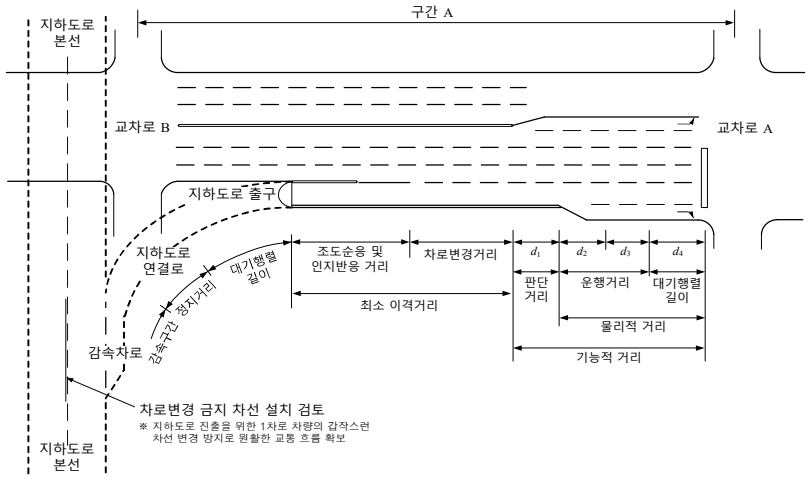
◦ 도로의 구조 · 시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(2020)

* **지하도로**의 **접속 여건**을 **고려한 지상 출입시설 설계**에 대한 **별도규정 부재**

◦ 도시지역 지하도로 설계지침(국토부, 2016)

지하도로 진출입부(지상)의 최소 이격거리를 규정하고 있으나 적용 조건 한정적

(1) 지하도로와 상부도로(도시 내부도로)의 접속 유형 구분

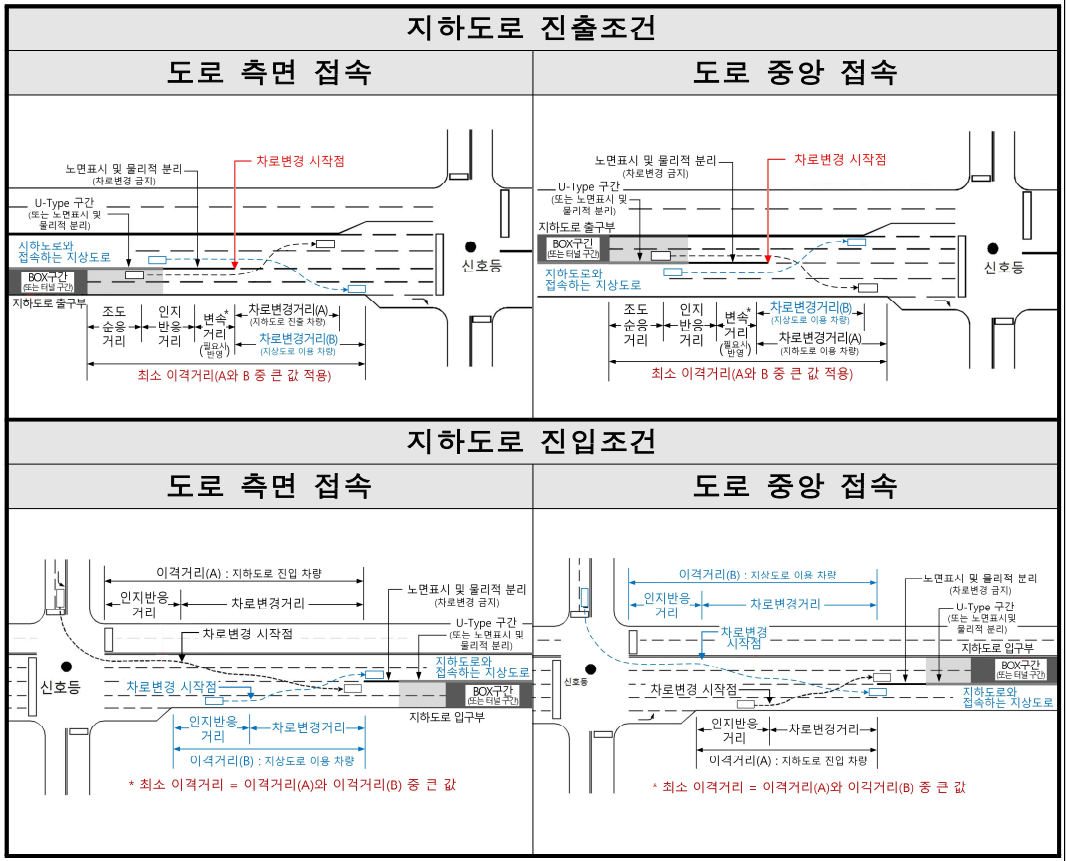


[(a) 분기구간 지하도로 연결로와 지상도로 접속 조건]

지하고속도로 설계기준(안)

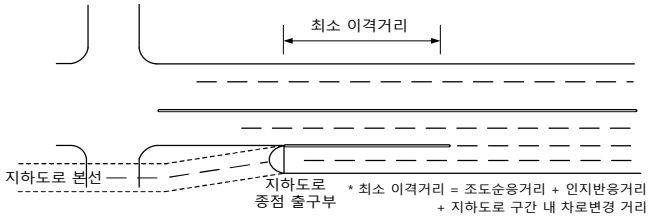
◦ **[개선]** 다양한 지상도로 조건에 따라 **입출구부와 최소이격거리 기준 제시** 각 진출입조건 및 배치형태별 조건에 대해서 **각각 검토** 후 **산출된 최소 이격거리 중 큰 값 적용,** 또한, **지상도로 주행차량**과 **지하도로 이용 차량**간 **엇갈림이 발생**하므로 **교통 영향 분석** 등을 통해 **원활한 교통흐름**을 위한 **엇갈림 길이 추가 확보**

(1) 지상부 접속도로 단속류 : 입출구부에 인접하여 평면교차로가 있는 경우

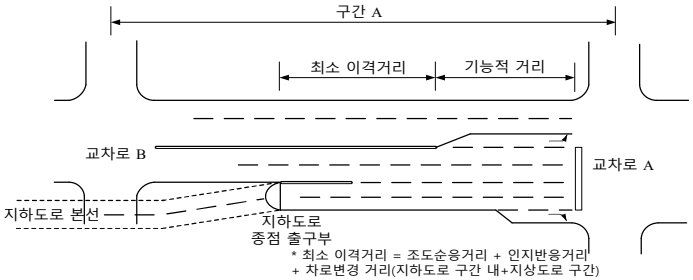


○ 지상출입시설(계속)

現 기준



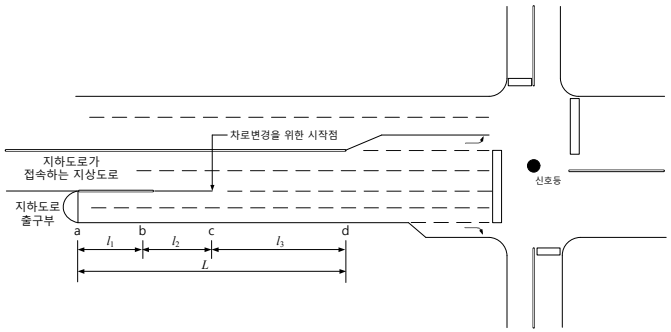
[(b) 종점부 지하도로 본선과 지상도로 접속 조건 : 연속류 조건]



[(c) 종점부 지하도로 본선과 지상도로 접속 조건 : 단속류 조건]

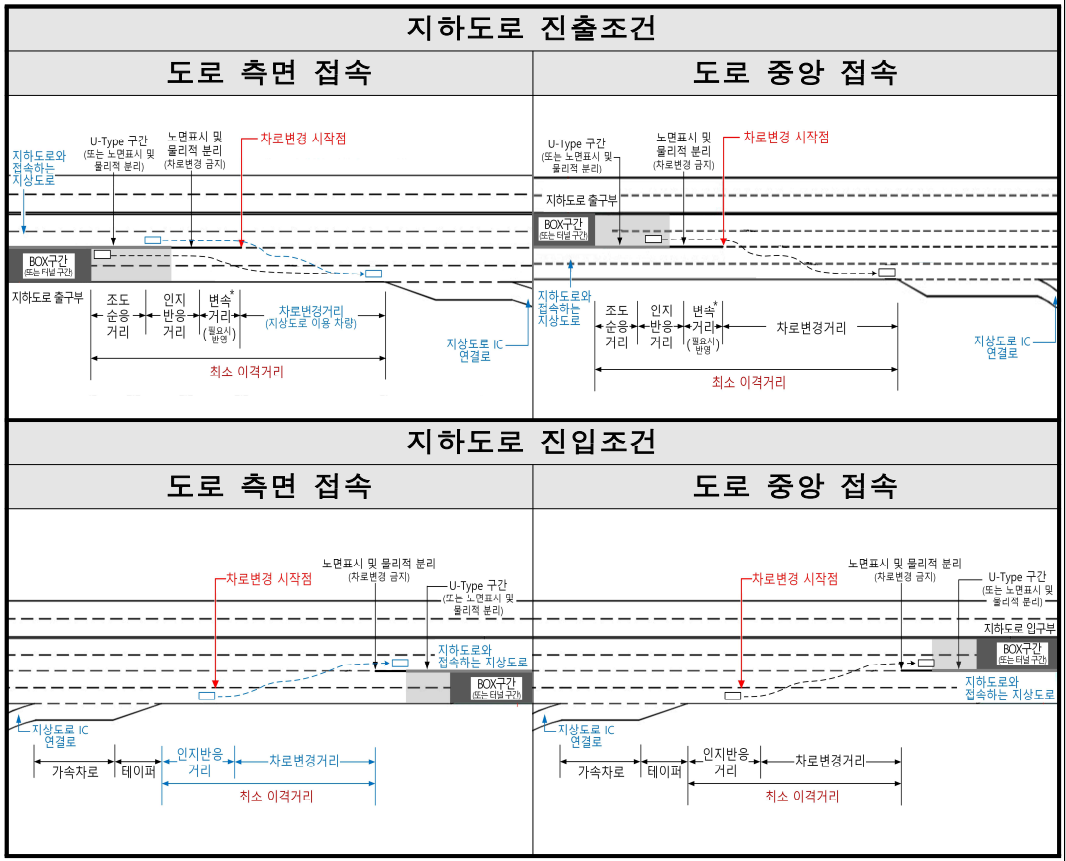
(2) 출구부 단속류 조건을 고려한 필요 이격거리 제시

- 도로 가로변 배치 : 지하도로 주행차량 좌회전시 필요 이격거리



지하고속도로 설계기준(안)

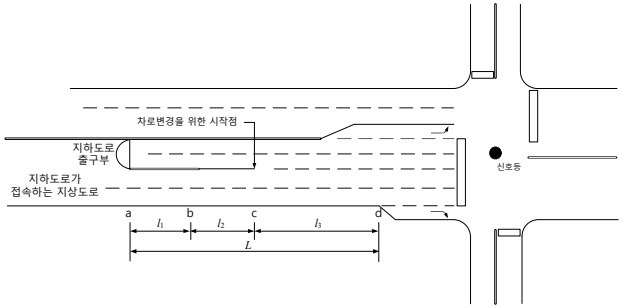
(2) 지상부 접속도로 인근 인터체인지(IC) 존재



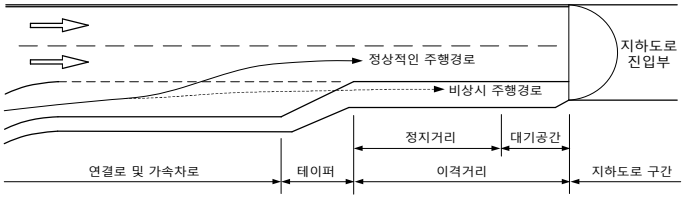
○ 지상출입시설(계속)

現 기준

- 도로 중앙 배치 : 지하도로 주행차량 우회전시 필요 이격거리

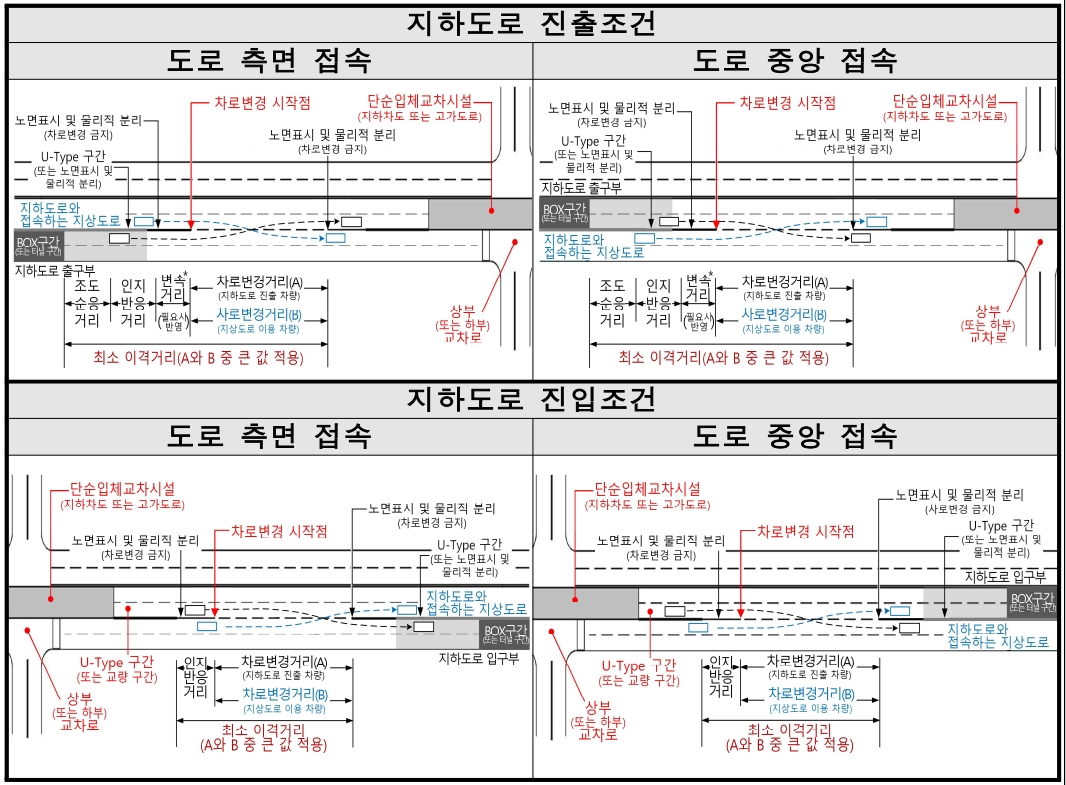


(3) 진입하지 못한 차량을 위한 진입부 소요 이격거리 제시



지하고속도로 설계기준(안)

(3) 단순입체교차로(지하차도, 고가도로 등) 존재



개선 사유

- **現 기준 및 관련지침**에는 지하도로의 접속 여건을 고려한 지상 출입시설 설계에 대한 **별도규정 부재 및 적용 조건 한정적**
  ☞ 기존 지침에서 고려되지 않은 **추가 사례 발굴** 및 **유영화** → **조건별 교통안전 확보**를 위한 **최소 이격거리 기준** 제시
- **現 관련지침**에는 **지하도로 이용차량 조건만 고려**된 기준 제시
  ☞ **지상도로 이용차량**과 **지하도로 이용차량 모두**를 **고려**, 도로 이용자 **안전확보**를 위한 **최소 이격거리 제시** 필요
  * 지상도로 이용차량과 지하도로 이용차량 각각의 조건에 대한 최소 이격거리 기준 제시 → 사업별 조건 적용 및 비교를 통해 큰 값 적용(모두 만족하는 조건)
- **지하도로**와 **지상도로 이용차량 사이**에는 **엇갈림**이 발생하므로, **교통 영향 분석** 등을 통해 **필요 길이 추가 반영** → **원활한 교통흐름 확보**

○ 지하고속도로 침수방지 방안(수방재)

現 **기준**	**지하고속도로 설계기준(안)**
◦ 도로(신설, 개량 및 확장) 배수시설 설계 및 관리 – 「도로법」 제10조에서 규정하는 도로의 배수시설 설계 및 관리 등에 적용하는 「도로 배수시설 설계 및 관리지침」은 감사* 이후 두 차례 (2019년, 2020년) 개정 * 대도시권 지하차도 안전관리 실태 점검, 감사원(2019) < 주요 개정 사항 > (1) 설계빈도 : 지하차도 배수시설 설계빈도(50년) 명확히 규정, 도시지역은 지역별 강우 특성을 고려하여 상향 조정 적용 (2) 수배전반 설치 위치 : 예상 침수높이, 차수벽 설치 등을 검토하여 우기시 침수가 되지 않도록 설치 (3) 침수 위험도 평가 기준(기간) : 최초 10년, 향후 매 5년 단위로 재조사 하여 우수유입량 산정 후 침수 위험을 검토 (4) 집수유역 면적 산정기준 : 진입구간의 면적, 하향 종단경사를 가진 본선 구간 면적 및 강우 시 지하도로(차도) 방향으로 우수를 유출시킬 수 있는 주변 도로의 면적 등 고려하여 산정 (5) 집수정 유입구 설치 기준 : 유입된 우수가 원활하게 집수정으로 유출될 수 있도록 우수유입량, 침전물의 퇴적 등을 고려하여 결정하며, 가능한 2개소 이상을 기본 (6) 배수펌프 제어시스템 구축 : 수중펌프 시스템은 고장 시에도 배수펌프가 계속 작동될 수 있도록 독립적으로 운영되는 별도의 시스템으로 구축 – 펌프 용량 : · 배수펌프의 용량은 유량, 양정, 동력비 등 고려하여 산정 (「도로 배수시설 설계 및 관리지침」) · 펌프 용량은 유입수량의 200%를 배수할 수 있도록 확보 (「도시지역 지하도로 설계지침」)	◦ **[준용] 배수시설 기준** 1) **최근 개정된 「도로 배수시설 설계 및 관리지침」 준용** – 최근 인천-김포 북항터널 침수 등으로 인한 감사원 감사(대도시권 지하차도 안전관리 실태 점검, 2019)에 따라 기준 강화 • 지하차도 배수시설 설계빈도 : 50년 (도시지역은 상향 가능) • 침수 위험도 평가 : 최초 10년, 매 5년 단위 재조사 • 기타 배수시설 집수유역 산정기준 강화 등 • 수중펌프 제어시스템의 항구성 강화 – 수배전반 설치방법 : 예상 침수높이 이상 또는 차수벽 설치 – 제어시스템 : 원격제어와 현장제어를 각각 독립된 시스템으로 별도 구축하여 한쪽 시스템이 고장나더라도 대체 시스템으로 제어가 가능하도록 의무화 2) **펌프 용량은 「도시지역 지하도로 설계지침」 준용** : 예상치 못한 집중호우 등 **설계빈도를 초과하는 강우조건을 고려 200% 확보**

개선 및 준용 사유

• 최근 지속적인 **집중호우** 등 **기상이변**에 따른 **침수피해** 등 고려, **이용자 안전을 확보**할 수 있는 **배수시설 및 수방재 기준 검토**

- **지하도로 침수 발생**시 **인명피해**, 복구 등 **경제적** 피해뿐만 아니라 주요 간선 도로 마비에 따른 **막대한 피해 초래**

- 지하도로는 **폐쇄된 지하공간**, **'U'형 종단선형** 등 특성 및 진출입부 유역면적 내 우수, 주변 지하수, 하천 범람 등에 의한 **물 유입으로 침수피해 발생 가능성 존재**

• 두 차례(2019년, 2020년) **「도로 배수시설 설계 및 관리지침」 개정**을 통해 **배수시설 설계, 운영 측면**에서의 **침수 유발 요인* 대부분 해소 → 준용**

• 펌프용량 강화 사유

- "**유입수량의 200%**"는 구조물 설계를 위하여 선정한 강우강도(50년 빈도 또는 이상)와 지하수 유입량 등을 고려하여 산정된 **유입수량을 기준으로 산정된 펌프용량의 100% 예비율을 반영하는 개념**

- 해당 수치인 200%는 "지하차도 유도배수공법의 현장 적용성 평가 연구(2011, 토지주택연구원)", "공동구 설계기준(국토해양부, 2010)", "도시철도기술자료집-기계설비(서울특별시지하철건설본부(이엔지북 출판), 2005)", "거가대교 침매터널(부산~거제간 연결도로 민간투자사업) 설계사례"를 참고하여 반영

- 최근 들어 200년 빈도(2014, 부산 금정구), 300~500년 빈도(2016, 울산 울주군)의 기록적 폭우가 발생하는 상황에서 **펌프용량의 강화를 통한 침수피해 예방은 최소한의 안전장치로 고려**하여야 함

現 기준

◦ 침수방지 등 수방재 측면

- 지하 공간 침수방지를 위한 수방기준(행안부, 2019) : 지하구조물 침수를 방지하기 위한 수방기준에 관하여 필요한 사항 명시

제7조(출입구 방지턱의 높이)

② 출입구 방지턱의 높이 결정시 시설 이용자 및 차량통행 등을 감안하여 침수높이보다 낮게 설치하는 경우 방지턱을 넘어 지하로 유입되는 물을 방지하기 위하여 방수판 등을 설치 …

제11조(방수판, 모래주머니)

① … 출입구에 방지턱을 설치하여도 지하 침수를 완벽하게 방지하지 못하는 경우 방수판 또는 모래주머니를 설치 …

② 방수판은 자동 운행이 가능(비상시 수동전환 가능)한 상태가 되도록 설치하여야 하며 자동운행 방수판 설치가 여의치 않은 경우 일반 방수판 …

- 도시지역 지하도로 설계지침(국토부, 2016)

5.5.2 지하도로 수방 배수체계

아. 차수용 방수문

도시지역 지하도로에는 비상 시 침수확산을 방지하기 위하여 진출입부, 개구부 및 필요성 검토 후 소정 위치에 차수용 방수문을 설치하여야 한다.

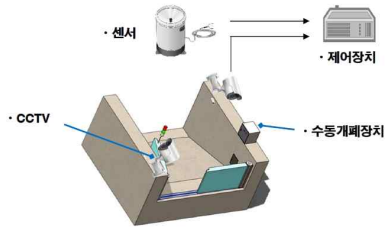
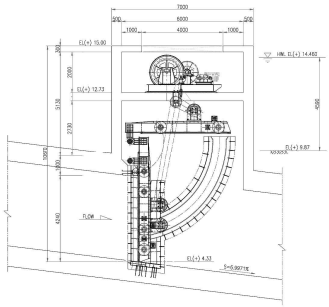
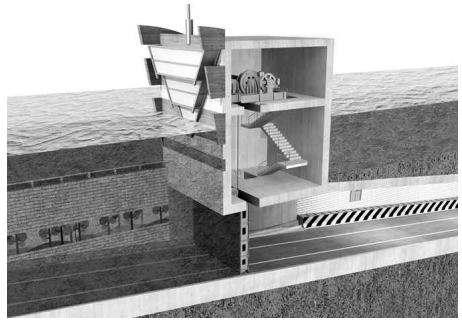
지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] **지하도로** 내 **침수 방지를 위해 차수판 및 방수문 설치기준 구체화**

① 지하도로 **지상 진출입시설의 입구부**에는 집중호우 등에 의한 지하도로 침수를 예방하기 위하여 **차수판 등 침수 방지 시설 설치**하여야 한다.

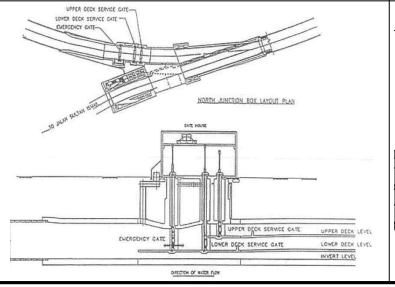
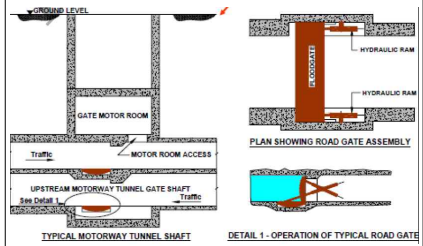
② 특히, 지상 진출입시설의 **입구부가 계획홍수위 보다 낮은 위치에 설치**될 때에는 **방수문을 설치**하여야 한다.

③ 2항에 따라 설치되는 방수문은 **자동과 수동**의 다중화된 **운전**방안, **전원 공급의 이중화**(주전원, 예비전원), **기계장치 및 제어장치의 이중화**(모터 및 브레이크 장치, 현장조작반 등)를 통해 **비상상황 시**에도 **기능이 원할히 작동**될 수 있도록 한다.

구 분	개 념 도
차수판	 [스윙식] [유압식]
방수문	 [라이징 스윙게이트]  [수직 강하식]

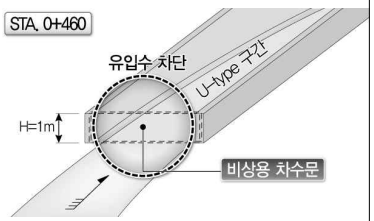
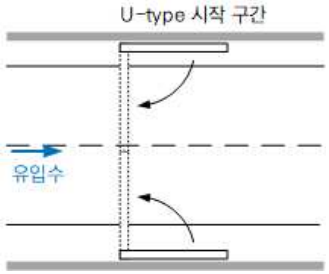
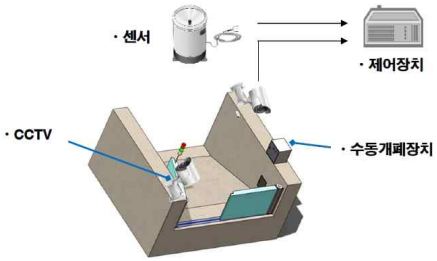
개선 및 준용 사유

• **(해외)** 미국, 영국, 말레이시아 등은 **지하구조물(터널) 수방재**를 위한 **방수문** 등 설치 **적용**

터널명	SMART tunnel(말레이시아)		Hugh L. Carey Tunnel(미국)	Port of Miami Tunnel(미국)
설치위치	본선구간	램프구간	하저터널 Manhattan쪽 입구	해저터널 Watson Island 입구
형 식	방수문 : 수직 강하식	방수문 : 유압 플랩게이트	방수문 : 수동 스윙식	방수문 : 수직 강하식
대 표 도				

* Port of Miami Tunnel은 방수문 2개소 시공에 $480만(약 57억, 터널 총 공사비 대비 0.8%) 소요되었으나, 방수문 부재시 카테고리 4 폭풍에 의한 피해가 $10억(약 1.18조)에 이를 것으로 예상

• **(국내) 차수판 등**은 지하철, 지하주차장 등을 위주로 적용되어 왔으나 **도로 적용사례**는 **미미 → 최근 지하도로사업 위주로 적용 사례 증가**

터널명	서부간선지하도로(서울)	승학터널(부산)	만덕-센텀 지하도로(부산)	제물포터널(서울)
설치위치	지하도로 진출입부 (U-Type)	지하도로 진출입부 (U-Type)	지하도로 진출입부 (U-Type)	올림픽대로 진출입로(Ramp-C, D) 구간
형 식	차수판 : 스윙식	차수판 : 스윙식	차수판 : 스윙식(원격 및 수동제어)	방수문 : 라이징 스윙게이트
대 표 도				

○ 지하고속도로 방재 : 방재시설

現 기준

◦ 現기준 : 터널방재등급(1~4 등급)에 의거 방재시설 설치

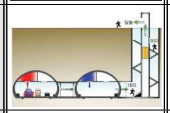
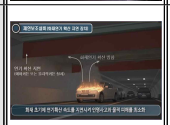
- **고속도로터널**은「고속도로 터널 방재시설 설치기준(시설처-1337, 2012)」1) 과「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 (일부개정안, 2019)」준용
- **소형차 전용** 도로터널 : **고속도로터널에 대한 별도 기준 부재**「도시부 소형차 전용터널 방재지침(2019)」,「도시지역 지하도로 설계지침(2016)」준용
- 방재시설은 크게 소화설비, 경보설비, 피난대피설비, 소화활동설비, 비상전원설비로 구분(상세 등급별 설치 시설 및 기준은 **'붙임 7'** 참조)

소화설비	소화기구	**피난대피설비**	비상조명등
	옥내소화전설비		유도등
	물분무설비(원격제어살수설비)	대피시설	피난연결통로
경보설비	비상경보설비		피난대피터널
	자동화재탐지설비		격벽분리형 피난대피통로
	비상방송설비		비상주차대
	긴급전화	**소화활동설비**	제연설비
	CCTV		무선통신보조설비
	영상유고감지설비		연결송수관설비
	재방송설비		(비상)콘센트설비
	정보표시판	**비상전원설비**	무정전전원설비
	진입차단설비		비상발전설비

지하고속도로 설계기준(안)

◦ **[준용] 現기준**에 제시된 **등급별 방재시설** 설치는 **준용**
- 국내 방재 기준은 해외 설치 및 운용 사례 대비 충분히 강화**(별도 설명(비교)자료 참조)**

◦ **[개선] 지하고속도로**에서 **추가적**으로 **필요한 방재시설**은 설치 **필요성 검토**(터널조건 및 경제성, 안전성 검토) **후 반영**

간이 소방서		• 효과적인 1차 화재진압 및 화재확산 방지를 고려하여 지하고속도로 내(또는 관리사무소)에 간이 소방서 설치 • (기준) 구호·구급차 1대 및 소방차 2대 이상 보유
비상차로 및 차량		• 교통량 연장 등 고려 비상차로(길어깨폭) 추가 확보 • 유지관리 및 비상 시 화재 장소 접근성 향상을 고려한 비상차량 배치
원격 소화설비		• 초기 화재진압 및 이용자 대피 여건을 고려한 원격소화설비(화재감지 후 통제 제어판을 통해 원격으로 조종 및 분사) 추가 설치(일반적인 물분무 설비와 병용하여 단점 보완)
비상 탈출구		• 화재 등 유고상황 발생 시 지하고속도로 이용자의 안전한 지상 대피 및 소방대 등 진입을 위한 외부대피통로 • 사업별 방재시설, 구난활동 여건 등 고려 0.5~2.7km 간격
포소화 설비		• 유류화재 발생 시 소화성능 향상을 위하여 이동용 포소화설비 또는 고정식 포소화 설비 설치
비상 안전구역		• 교통약자를 고려한 안전구역 확보, 비화재 터널에서만 이용 • 비상탈출구(또는 사갱) 등 외부대피시설과 연결 필요 ※ 적정 규모에 대한 기준은 추가 검토 필요
터널내 진입 차단시설		• 초장대, 다수의 분·합류가 존재하는 지하고속도로 특성을 고려하여 터널 내 화재구역 진입 차단시설 설치 • 커튼형, 물스크린(water screen) 방식 등 적용
연기 확산 지연 시스템		• 터널 화재의 주요 위험 인자인 연기 확산 지연 목적 설치 • 에어커튼, 물리적 커튼 등 적용가능, 전방과 후방 온도차이 약 75.7℃(화재 발생 동시 작동)~94.9℃(화재 발생 120초 후 작동) ※ 최근 국토교통 R&D 연구결과 참조(2020)
과열차량 알람시스템		• 진입차량 온도를 열화상 카메라로 측정, 차량이 과열 상태일 경우 전방 도로전광판(VMS)에 표출하여 안전지대 이동 • 잠재된 차량화재 위험요인을 선재적 관리하여 대규모 화재 및 피해 예방

○ 지하고속도로 방재 : 방재시설 중 원격 자동소화설비

現 기준

◦ 現기준 : 「도시부 소형차 전용터널 방재시설 설치 및 관리지침(2019)」의 '원격제어살수설비'로 규정, 방재등급 2등급, 터널연장 3km 이상 권장시설 ☞**소형차 전용터널** 대상 **옥내소화전용만 설치 가능**

3.3.3 설치지침
(1) 원격제어살수설비의 배치
...
② 방수지속시간은 터널의 지역적인 특성상 소방차의 출동시간을 고려하여 산정하며, 최소 40분 이상으로 한다.
...
(3) 원격제어 노즐
...
② 방수중 구동 및 제어장치 등에 의해 관리자가 방수량 및 분사각도를 조정할 수 있어야 한다.
(4) CCTV가 설치되는 터널에서는 CCTV와 연동하여 경보발생구역에 대한 집중감시가 이루어질 수 있도록 한다. 이 경우, CCTV는 수동으로...
(5) 원격제어살수설비의 작동은 관리자가 CCTV에 의해서 방수구역에 대피자가 없는 것을 확인하고 방수하는 것을 원칙으로 한다.

지하고속도로 설계기준(안)

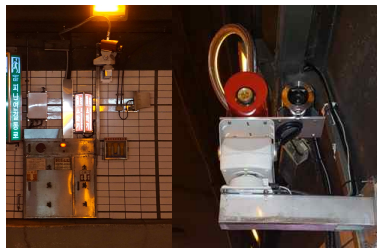
◦ **[개선]** 화재발생 후 **초기화재대응 고려 적용 범위 확대**

◦ 지하고속도로 설계기준 적용(안)

– **(적용 범위 확대)** 소형차 전용 및 전 차종 지하고속도로 이용, 방재등급 2등급 이상 터널 물분무설비 대체 또는 병행 설치(방재 시설 강화)

* 소방청 협의 등 필요 사항

– **(활용 범위 확대)** 옥내소화전용과 장거리용 등 두 가지 타입으로 분류

구분	옥내소화전용[1]	장거리용[2]
최대 설치간격	50m	90m
방수압력	0.35MPa 이상	0.5MPa 이상
방수량	190 liter/min 이상	1,000 liter/min 이상
방수 지속시간[3]	최소 40분 이상	최적 방수 지속시간 검토[4]
방수구 구경	40mm	65mm
설치사진		
설치방식	터널 내 차로수가 3차로 이하 터널은 한쪽 측벽에 설치하되, 일방통행터널은 주행차로 우측 측벽에 설치 원칙. 단, 터널 구조상 우측 측벽 설치가 곤란한 경우에는 좌측 측벽에 설치	

1) 옥내소화전설비의 배관, 가압송수장치, 수원을 공용으로 사용
2) 장거리 방수를 위해 단독으로 배관, 가압송수장치, 수원 구축
3) 2개소 동시 사용 조건
4) 40분 적용시 물탱크(수조) 용량이 너무 커지는 문제로 최적 지속시간(안) 검토 중

개선 사유

• **(필요성)** 터널의 **대심도화** 및 **장대화**에 따라 **화재로부터 인적/물적 피해 최소화** → **초기화재 대응 시스템** 필요

- **특히,** 도심지 장대터널 등 **화재 시 소화활동**이 **지연될 수 있는 터널**을 **대상**으로 **신속하고 효과적인 초동 대처**
- **모니터**를 통해 **화재현장**을 **확인**하면서 **화재초기 화점**에 대한 **직접적인 타격**이 가능 → **초기 화재 진압 유리**(주변 터널 이용자 유/무에 따른 작동 가/부 영향 적음)
  * 물분무설비는 이용자의 완전한 대피 후 가동되며, 화재확대를 억제하는 것이 주목적

• 원격 자동소화설비 설치에 따른 **기대효과**

화재진압 측면	대피자(이용자) 측면
- 모니터를 통해 화점에 대한 정확한 타격이 가능하여 **외부에 노출된 화재에 대한 진압률**이 **높음** - 다른 구조물(차량포함)으로의 **화재 확산 억제** 가능 - **원격 조종**에 의해 **능동적 소화활동**이 가능하므로 **추가 인명피해 최소화**	- 물분무설비는 운전자 대피 후 가동이 가능하나, 원격소화설비는 **관리자가 모니터**를 통해 **대피자의 상황**을 **관찰**한 후 운전자 대피 동선이 아닌 곳에 빠르게 **분사포 가동 가능**

• **(적용사례)** 국내에서는 서울 구룡터널에 시범도입(2019.05) 및 테스트 완료, 해외는 이탈리아 등에서 개발 중

[서울 구룡터널 설치 및 테스트 전경]

[원격 제어 장비]

○ 지하고속도로 방재 : 지하고속도로 위험도 지수

現 기준	지하고속도로 설계기준(안)
◦ **전 차종** 이용 터널 : – **고속도로터널 : 「고속도로 터널 방재시설 설치기준*(시설처-1337, 2012)」**, 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 (2019)」 준용 – **고속도로 외 지하도로 :** 「도시지역 지하도로 설계지침(2016)」 준용 * 방재시설별 설치기준, 터널방재등급, 위험도지수 산정 및 방재등급 조정 ◦ **소형차 전용** 터널 : – **고속도로에 대한 별도 기준은 없음** – 「도시부 소형차 전용터널 방재지침(2019)」, 「도시지역 지하도로 설계지침(2016)」 준용	◦ [개선] **지하고속도로의 특성**이 고려된 **세부평가항목 적용**을 통한 **위험도 지수(X) 기준 설정** – **도시지역 지하고속도로 방재특성** 고려 **위험도 지수 평가 기준** 수립 – **다양한 기준**으로 **산재**되어 있던 **위험도 지수 평가 기준**을 **종합적**으로 **고려**하여 **소형차 전용 및 전 차종 지하고속도로**에 **모두 적용 가능**한 기준 정립 * **고속도로터널 대상 준용** 중인 **「고속도로 터널 방재시설 설치기준(시설처-1337, 2012)」을 기준**으로 **現기준을 종합적**으로 **검토**하여 기준 정립

주요 변경 항목	변경형태	참고된 現기준
터널높이(시설한계)	확장	도시부 소형차 전용터널 방재지침(이하 소형차 지침), 도시지역 지하도로 설계지침(이하 지하도로 지침)
배연구간	신설	소형차 지침, 지하도로 지침
간이소방서	신설	소형차 지침
터널내 합류/분류	확장	소형차 지침, 지하도로 지침
소형화물차 주행거리계	신설	소형차 지침
영업소(터널 내)	신설	지하도로 지침
통행방식 : 중분대	삭제	도공기준 외 現기준

개선 사유

- **지하고속도로 특성**을 **고려**한 위험도지수 산정을 통한 **방재등급 산정** 필요
- **(터널높이(시설한계)) 소형차 전용** 지하고속도로의 **터널 단면특성**(터널 단면크기가 작아질수록 방재측면에서 불리) 반영 → **기존 평가항목 세분화 및 확장**
- **(배연구간) 도시지역 터널(지하도로)**에 **적용**이 **증가**하고 있는 **제연설비 환기방식**(대배기구 방식 및 종류식) **특성** 고려 → **신규 반영**
- **(간이소방서) 초장대 연장** 및 **소형차** 전용 지하고속도 **특성**을 반영, **화재 안전 강화**를 위한 **간이 소방서 신설 유도** 고려 → **신규 반영**
- **(터널내 합류/분류)** 지하고속도로는 **지하(터널) 내 분류 및 합류**가 요구되는 **IC 개소 수**가 **증가**할 것으로 **예상** → **기존 평가항목 세분화 및 확장**
- **(소형화물차 주행거리계) 소형차 전용** 지하고속도로의 **차종**(소형화물차와 승용차)통행 비율에 따른 **화재 위험도 차이** 고려 → **신규 반영**
- **(영업소(터널 내)) 지하** 내 **영업소** 설치 시 **지정체 영향** 고려(기존에는 터널 밖 TG 유무만 고려 가능) → **신규 반영**
- **(통행방식 : 중분대)** 지하고속도로 **터널 구간 내 중분대 설치**는 **현실적**으로 **어려울 것으로 예상**되는 바 불필요한 **항목 삭제**

〈 지하고속도로 위험도지수 산정기준(안) 〉

세부평가항목			범위		위험도지수
사고확률	주행거리계(교통량×연장)(Veh・km/tube・day)		8,000 미만		1.5
			8,000 이상~16,000 미만		2.5
			16,000 이상~32,000 미만		5.0
			32,000 이상~64,000 미만		7.5
			64,000 이상~128,000 미만		10.0
			128,000 이상~256,000 미만		12.5
			256,000 이상		15.0
터널(지하도로)특성	표고차 및 경사도	입출구 표고차(m)	10 미만		0.5
			10 이상~20 미만		1.0
			20 이상~30 미만		1.5
			30 이상~40 미만		2.0
			40 이상~50 미만		2.5
			50 이상		3.0
		진입부 경사도(%)	3.0 미만		0.5
			3.0 이상		1.0
	터널(지하도로)높이(m)		7.5 이상		1.0
			6.0 이상~7.5 미만		2.0
			4.5 이상~6.0 미만		3.0
			3.0 이상~4.5 미만		4.0
			3.0 미만		5.0
	터널곡선반경(m)		1,800m 이상		0.5
			1,800m 미만		1.0
	배연구간(m)(배연시스템)		없음		1.0
		있음	500 미만		0.0
			500이상~3,000미만		1.0
			3,000 이상		2.0
	간이소방서		없음		2.0
			있음		0.0

세부평가항목			범위	위험도지수
대형차량(또는 소형화물)	위험물 수송 관련	대형차 혼입률(%)	대형차 혼입 없음	0.0
			10 미만	0.5
			10 이상~17.5 미만	1.0
			17.5 이상~25 미만	1.5
			25 이상~32.5 미만	2.0
			32.5 이상~47.5 미만	2.5
			47.5 이상	3.0
		대형차 주행거리계(대・km/tube・day)※	500 미만	0.5
			500 이상~1,000 미만	1.0
			1,000 이상~2,500미만	2.0
			2,500 이상~5,000 미만	4.0
			5000 이상~7,500 미만	6.0
			7,500 이상~10,000 미만	8.0
			10,000 이상	10.0
		소형화물차 주행거리계(대・km/tube・day)※	1,000 미만	0.5
			1,000 이상~5,000 미만	1.0
			5,000 이상~10,000 미만	1.5
			10,000 이상	2.0
		감시시스템	있 음	0.0
			없 음	1.5
		유도시스템	있 음	0.0
			없 음	1.5

※ **대형차 주행거리계**에 의한 **위험도 지수 산정**은 대형차가 혼입되는 **전 차종 지하고속도로에만 적용**하며, **소형화물차 주행거리계**에 의한 **위험도 지수 산정**은 **소형차 전용 지하고속도로에만 적용**함.

㈜ 소형화물차 주행거리계는 소형트럭 대수를 기준으로 계산함.
배연시스템은 화재시 연기를 배출할 수 있는 시스템을 의미하며, 배연구간은 최대 배연거리를 기준함.
터널내 합류/분류가 있는 경우는 합류 또는 분류 구간의 개수를 합산하여 계산함.

세부평가항목		범위	위험도지수
정체정도	서비스수준	LOS A~LOS C	1.0
		LOS D	2.0
		LOS E~LOS F	3.0
		대면통행	3.0
	터널내 합류/분류	없음	0.0
		1개소	2.0
		2개소	2.5
		3개소	3.0
		4개소	3.5
		5개소 이상	4.0
	교차로/신호등/TG 등(터널 외부)	없음	0.0
		있음	2.0
	영업소(터널 내)	없음	0.0
		있음	2.0
통행방식	구분	길어깨	-
	일방통행	있음	1.0
		없음	2.0
	대면통행	있음	5.0
		없음	6.0

※ 통행방식 중 중분대 관련 내용 삭제

범 례

■ 도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(국토부)

■ 고속도로터널 방재시설 설치기준(한국도로공사) 준용사항

■ 도시부 소형차 전용터널 방재시설 설치 및 관리지침(국토부) 준용사항

■ 도시지역 지하도로 설계지침(국토부) 준용사항

○ 지하고속도로 방재 : 설계화재강도(소형차 전용)

現 기준	지하고속도로 설계기준(안)
◦ 現기준별 설계화재강도 - **전 차종** 이용이 가능한 도로터널(지하도로 포함) : 설계화재강도를 20MW 이상으로 하며, 이때의 연기발생량은 80㎥/s로 할 것을 권장 - 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침 (일부개정안, 2019)」 - 「도시지역 지하도로 설계지침(2016)」 - 도시지역 **소형차 전용** 도로터널(지하도로 포함) : 설계화재강도는 15MW 이상으로 하며, 이때의 연기발생량은 60㎥/s로 할 것을 권장 - 「도시부 소형차 전용터널 방재지침(2019)」	◦ [준용] - **소형차 전용** 지하고속도로 **설계화재강도**는 15MW, **연기발생량**은 60㎥/s **적용**

준용 사유

- **소형차 전용터널**(대형차 인입불가)은 일반 도로터널에 비해 **화재강도 감소** 예상되므로 적정 **설계화재강도 검토**
- **(국내외 관련 기준 현황)** : 세계도로협회 WRA(PIARC)에서 제시하는 화재강도별 연기발생량은 20MW시 60~80m^3/s, 15MW시 50m^3/s 제시

구분		승용차	승합차	버스	트럭	탱크로리
도로터널 방재시설 설치 및 관리지침(2016)	화재강도(MW)	5 이하	-	20	30	100
	연기발생량(m^3/s)	20	-	60~80	80	200
도시부 소형차 방재지침(2019)		차량은 승합차(소형트럭)를 기준하며, **화재강도는 15MW** (적재화물 고려시 +5MW 추가), **연기발생량은 60m^3/s** 적용				
WRA(PIARC)	화재강도(MW)	2.5~8	15	20	20~30	100
	연기발생량(m^3/s)	20~30	50	50~80	-	100~300
NFPA(미국)	화재강도(MW)	5~10	10~20(다중승용)	20~30	70~200	200~300

- **실물화재시험** 등을 통한 **국내** 소형차 전용 터널에 대한 **연구자료**(건설연)에 따르면, **연료**의 **누출을 고려**한 **다중화재(차량 2대)**의 **화재강도**는
  $4.5^{*}+(5\sim6)^{**}\times2$ = **14.5~16.5MW** * 차량 2대 화재시 열방출률, ** 누출된 연료에 의한 열방출률
- **연기발생량**에 대해서는 **WRA(PIARC) 권고 값** 고려 **50m^3/s 적용**을 **고려**할 수 있으나, 해당 수치와 관련하여 **인증된 국내 연구결과 부재**
- 따라서, **現 도시부 소형차 방재지침(2019)을 준용**하여 **설계화재강도는 15MW, 연기발생량은 60㎥/s 적용**함이 바람직

○ 지하고속도로 방재 : 제연팬(제트팬) 설치 방안

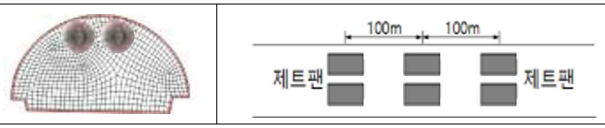
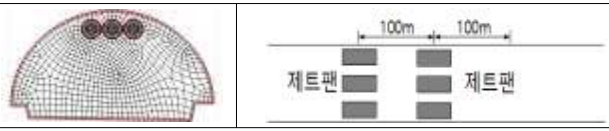
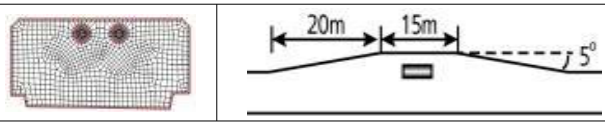
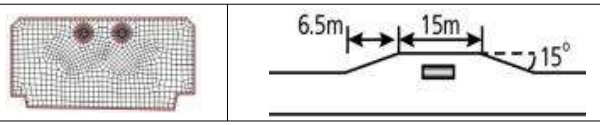
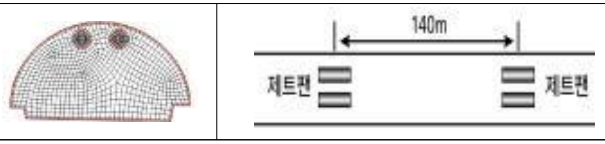
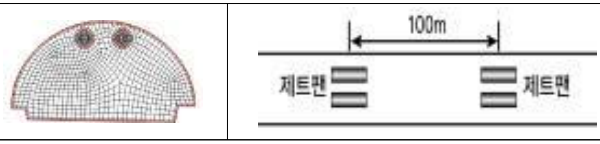
現 **기준**	**지하고속도로 설계기준(안)**
◦ 現기준 : 제연용 제트팬 설치에 대한 별도의 기준은 없으므로 환기 기준 준용하여 터널 상단에 병렬로 2개 설치만 가능 ◦ **「도로설계편람(2011)」** - 제트팬 설치방법 - 천정부에 1대 또는 2대를 병렬로 설치 - 1개소당 2대를 병렬로 설치하는 것이 효율적 - 제트팬 종방향 이격거리 : 140m 이상을 표준 ◦ **「고속도로 터널 환기시설 설계기준(시설처-1337, 2012)」** - 제트팬간 이격거리 : 외경 사이 간격 1D 유지 - 단, 터널 폭이 좁은 경우 서로 밀착하여 설치가능 - 제트팬 종방향 이격거리 : 100m 이상을 표준	◦ **[개선] 소형차 전용 지하고속도로 단면 특성 고려 제트팬 설치방안 제시** - **한 장소**에 **다수 소형팬** 설치 및 **노치부 설치** 등이 가능하도록 제연용 제트팬 설치기준 제시 ① 제트팬 병렬 설치시 제트팬간 이격거리는 1.0D(D는 제트팬 내경)거리를 유지하도록 한다. **단, 1.0D를 유지할 수 없는 경우(터널 폭이 좁은 경우), 밀착하여 설치할 수 있다.** 다만, 이 경우 제트팬 간의 진동(Hunting) 현상에 대하여 주의하여 설치하도록 한다. ② 제트팬의 **종방향 이격거리**는 터널 환기시스템에서 요구하는 **승압력을 최대로 확보**할 수 있도록 한다. ③ 제연용 제트팬이 **비상주차대 및 확폭부에 설치될 경우 노치부 각도에 따른 효율저감을 최소화하여 설치**하여야 한다. ④ 다만, 제트팬의 배열, 이격거리 및 노치부 각도는 **수치해석 검증을 통해** 대상 터널에서 요구하는 **환기시스템 용량을 확보** 할 수 있도록 하여야 한다.

개선 사유

- **소형차 전용 지하고속도로**는 **소단면 터널**로서, 현재 기준 적용 시 **시설한계 등**의 **문제**로 **단면 확대 불가피**
  * 초장대 지하도로 : 소요환기량↑ ⇒ 풍도면적↑ ⇒ 단면증가로 사업비증가
- **동일 또는 동등 이상**의 **효율 유지**와 함께 **단면 크기 등 고려**한 **최적 제트팬 설치 도모** (다수 소형팬 병렬 설치, 노치부 설치 등)
- **소단면 터널**에 대한 **제트팬 설치효율 분석자료 전무** → 수치해석(CFD)을 통해 다양한 조건에 대한 **제트팬 설치 조건별 효율 검토**
  * 설치조건 : 횡방향 제트팬 수 증대, 종방향 이격거리, 노치부 각도 등
  - (재트팬 배열) 3열로 했을시 2열에 비해 정압 7.5%▼, 유량 3.9%▼ 효율 감소
  - (종방향 이격거리) 140m의 경우, 100m보다 정압 0.8%▼, 유량 0.2%▼ 효율 감소
  - (노치부 각도) 15°의 경우, 5°보다 정압 5.2%▼, 유량 2.6%▼ 효율 감소

☞ **제트팬 설치 방안**을 해당 **지하고속도로 단면 특성** 및 **한계** 등을 고려 **다양화하되**, 설치 **조건별 효율 감소** 등 **고려한 설계**가 가능하도록 **가이드라인** 제공

• **검토 조건 및 결과 상세**

구 분	조건 1	조건 2	효율변화	활 용
제트팬 배열	Φ1,250mm 2열 × 3	Φ1,030 mm 3열 × 3	추가검토 진행 중	다수 소형팬 병렬설치
				
	Φ1,030mm 2열 × 3	Φ1,030mm 3열 × 2	정압7.5% ↓ 유량3.9% ↓	확폭부 설치 (확폭 공사비 최소화)
				
노치부 각도	5°	15°	정압5.2% ↓ 유량2.6% ↓	
				
종방향 이격거리	140m (도로설계편람)	100m (도공 기준)	정압0.8% ↑ 유량0.2% ↑	소형 단면에서도 도공기준 유리
				

○ 지하고속도로 환기 : 소요환기량 산정 기준

現 기준

◦ 도로터널 환기설비 설계를 위한 소요환기량 산정 시 적용되는 오염물질별 기준배출량, 비차량 배출분진 배출량

- 고속도로포함 도로터널은 오염물질 전체 배출량 산정시 다음 표의 값 적용(도로설계편람, 2011)

* 환경부의 2009년 이후 제작차 배출허용기준 값과 WRA(PIARC)의 2004년 보고서내 비엔진배출량을 기준으로 산정

[오염물질별 기준배출량]

구 분	승용차		버 스		트 럭			
	휘발유	경유	소형	대형	소형	중형	대형	특수
매연(m^2/h)	0.000	0.787	0.787	23.375	0.787	11.481	25.857	33.460
CO(m^3/h)	0.030	0.014	0.018	0.554	0.018	0.272	0.613	0.793
NO_x(m^3/h)	0.001	0.003	0.004	0.166	0.004	0.082	0.184	0.238

[차량속도별 비차량 배출분진 배출량]

속도 (km/h)	승용차 (m^2/h)	대형차(HGV) (m^2/h)	속도 (km/h)	승용차 (m^2/h)	대형차(HGV) (m^2/h)
10	0.9	4.5	60	5.4	27.3
20	1.8	9.1	70	6.2	31.9
30	2.6	13.7	80	7.2	36.5
40	3.6	18.2	90	8.0	41.0
50	4.4	22.8	100	9.0	45.6

* 비차량 배출분진 : 타이어 마모분진, 브레이크 마모분진, 도로 마모분진, 재부유 분진(도로 노면에 쌓여 외부 유입 먼지 등) 등 → 가시도(매연)기준에 영향

- 또한, 해당 노선의 선형 및 주행조건에 따른 배출량 변화를 보정하여 사용하며, WRA(PIARC) 1991 및 2004 보정계수 적용

지하고속도로 설계기준(안)

◦ [개선] **소요환기량 산정**에 **사용**되는 **설계 값** 및 **보정계수 개선**(현행화)

- **최신 적용 값***을 **기반**으로 **차종별 기준배출량** 및 **비차량 입자상물질**에 대한 **기준배출량 산정** 및 **제시**

* 「2016/17년 이후 제작차 배출허용기준(환경부)」 및 「WRA(PIARC) 2019년 보고서」

[오염물질별 기준배출량(안)]

구 분	승용차		버 스		트 럭			
	휘발유	경유	소형	대형	소형	중형	대형	특수
입자상물질(m^2/h)	0.321	0.872	0.872	7.792	0.872	3.827	8.619	11.153
CO(m^3/h)	0.030	0.017	0.022	0.554	0.022	0.272	0.613	0.793
NO_x(m^3/h)	0.000	0.002	0.002	0.038	0.002	0.019	0.042	0.055

[차량속도별 비차량 배출분진 배출량(안)]

속도 (km/h)	승용차 (m^2/h)	대형차(HGV) (m^2/h)	속도 (km/h)	승용차 (m^2/h)	대형차(HGV) (m^2/h)
10	1.1	5.1	60	6.7	30.3
20	2.2	10.1	70	7.8	35.4
30	3.4	15.2	80	9.0	40.4
40	4.5	20.2	90	10.1	45.5
50	5.6	25.3	100	11.2	50.6

- **WRA(PIARC)의 최신(2019) 보정계수** 적용

- **[기준 변화에 따른 영향 검토]** 산정기준 최신화로 **오염물질 배출이 감소**하여 **소요환기량** 산정 시 **현행(도로설계편람, 2011) 대비 17%(소형차), 40%(전 차종) 감소**

* 2차선 조건, 소형차 터널 단면적A_r=40m^2, 전 차종 터널 단면적 A_r=75m^2 적용

개선 사유

- **도로터널 환기설비** 규모는 **소요환기량** 크기 **변화에 민감 : 소요환기량 증가시 환기설비 비용 증가**
- **現기준**은 대부분 **10~15년 전 자동차 성능기준**을 바탕으로 **산정된 수치**를 **기반**으로 **기준 정립** → **최신** 차량 **오염물질 배출량** 및 **성능 등 반영 기준 개선 필요**
- **최신 기준 적용**을 통한 **환기 설계**를 통해 **환기 설비 최적화** 및 **경제성 도모**(불필요한 예산 낭비 최소화)

○ 지하고속도로 환기 : 오염물질 허용농도 기준

現 기준

◦ 도로터널 관련 오염물질 허용농도 기준 현황

구 분		CO(ppm)	NOx(ppm)
도로구조규칙(2020)		100	25
도로설계편람(2011)		70	20
도시지역 지하도로 설계지침(2016)	연장 10km 이하	70	20
	연장 10km 초과~15km 이하	50	15
	연장 15km 초과	CO-Hb 및 FED 검토를 통해 추가 하향여부 판단	

- 현재 **고속도로**에 적용되는 **농도기준**은 운전자의 체류시간에 상관없이 **터널 내**에서의 **최대 농도 값만**을 **규정**
- 초장대 지하도로는 운전자가 **지하도로 내에 장시간 체류가 불가피**하며, **두통이나, 메스꺼움** 등의 신체적 **문제**를 **겪게 될 가능성**
- **「도시지역 지하도로 설계지침」**은 이러한 문제를 고려하여 **연장별**(체류시간 고려) **농도기준**을 구분 적용

지하고속도로 설계기준(안)

◦ **[개선] 초장대 지하고속도로 연장** 등 **특성**을 **반영**한 **기준 개선**

- **지하고속도로 오염물질 허용농도 기준**(안)

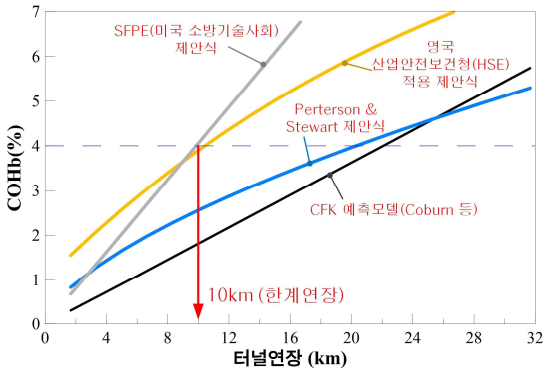
터널구간 연장	CO(ppm)	NOx(ppm)
10km 이하	70	20
10km 초과	50	15

- **[기준 변화에 따른 영향 검토] 10km 초과 터널**에서 **허용농도 기준을 강화**하여도 **소요환기량 산정**을 위한 **現기준 적용 조건 대비 개선 기준(안) 적용 시 소요환기량 약 10% 감소**
- **「도시지역 지하도로 설계지침**(2016)」의 **연장 15km 초과 조건** 'CO-Hb 및 FED 검토를 통해 추가 하향여부 판단'**조항은 제외**

개선 사유

• **장대 지하도로**에서의 **기준 강화**는 **필요**성이 인정되며, **검토결과 10km 초과 터널** 조건(CO 50ppm, NO_x 15ppm))에서는 **기준 강화에 따른 문제** 발생 우려 **없음**

- 한계연장 10km : CO-Hb* 예측모델을 통해 산정



※ 한계연장 산정

- 현 기준(CO 70ppm) 적용 및 10km/h 운행 조건
- 터널 연장 증가에 따른 체류시간을 고려, 4개 제안식을 이용한 혈중 CO-Hb(%) 예측
- CO-Hb(%) 4% 초과 연장 검토 (WHO, 미환경청 기준)

⇒ 한계연장 10km 도출

* CO-Hb(카복시헤모글로빈) : CO 가스 흡입시 인체 혈중 헤모글로빈과 결속하여 생성 → 산소 운반능력 저하

개선 사유(계속)

- 허용농도 기준 설정
  * CO : 해외 적용 사례 등 검토를 통해 가장 강화된 기준 50ppm 적용
  * NO_x : 노르웨이 NO_2 기준 적용(터널 내 NO_x 중 NO_2 비율 10% 고려)

구분	최처유효농도	해당 국가 또는 기관
CO	100 ppm	WRA(PIARC, 1995), 홍콩
	70 ppm	WRA(PIARC, 2010)
	50 ppm	**프랑스, 호주**
NO_2	**1.5ppm**	**노르웨이**

☞ **허용농도 기준을 강화하더라도 기준배출량 현행화에 따른 소요 환기량 감소로 현 기준 대비 소요 환기량 약 10% 감소**

• 다만, 현 도시지역 지하도로 설계지침에 대한 **검토결과 15km 이상** 연장의 터널에 대해 **CO-Hb 및 FED 검토**를 통하여 **추가 하향여부 판단**시 **과도한 소요환기량 증대 유발**

- 특히, **일정 터널연장(약 30km) 이상**에서는 **본선 단면**보다 **환기덕트**의 **단면적**이 **커지는** 불합리한 **현상 발생**

☞ **본 검토를 통해 해당 조건을 제외하는 것이 바람직**

* **(해외) 연장조건**에 따라서 오염물질 **허용농도 기준**을 **강화한 사례 없음 → 제시된 기준(안)으로도 국내 기준이 충분히 강화된 기준임**
* CO-Hb 검토 : CO가 혈액 중 헤모글로빈(Hb)과 결합시 CO-Hb를 형성하며 산소의 운반능력 저해를 초래하여, 심한 경우 체내 산소 공급의 부족으로 반사신경 둔화 및 운전자의 판단응력 저하를 야기함, CO가 Hb와 결합하여 생성되는 CO-Hb(%)를 예측식을 통해 계산(허용농도는 ppm개념이 아닌 CO-Hb기준으로 설계)
* FED(Fractional Effective Dose, 유효복용용량) 검토 : 인간이 열환경이나 유해가스에 노출되어 나타나는 영향을 정량화하여 평가하기 위한 것으로 터널 환기측면에서의 FED 기준은 CO 및 NO_x를 흡입하여 인체가 무기력(Incapacitation) 상태에 도달하는 복용기준을 고려사하여 산정

○ 지하고속도로 환기 : 교통환기력 산정을 위한 항력계수 재산정

現 기준	지하고속도로 설계기준(안)
◦ 도로설계편람(2011) - 소요환기량 ≦ 자연환기력 + 기계환기력 * 자연환기력 = 자연풍 + 교통환기력 - 교통환기력(ΔP_t) = 자동차 등가저항면적(A_m)에 비례 - 등가저항면적(A_m) = 항력계수(C_D)에 비례 * 차량항력계수 : 자동차의 공기저항에 대한 계수 $A_m = 0.64 + \frac{8.84}{A_r} + (3.97 + \frac{107}{A_r}) \times \gamma_L$ – 전 차종 터널 대상의 일본의 경험식 준용 중 ☞ 소형차 전용 터널의 소형 단면에 따른 항력계수 증가 미반영	◦ **[개선] 소형차 전용 지하고속도로 특성을 고려한 항력계수 재산정** - **소형차 전용 지하고속도로**에서는 **감소된 단면적** 크기를 **고려**하여 산정된 **항력계수**를 **환기설계에 반영**하여야 한다. ☞ 현행 기준의 등가저항면적(A_m) 산정식에 소형승합·화물차 혼입률에 따라 5~10% 가중치 고려

개선 사유

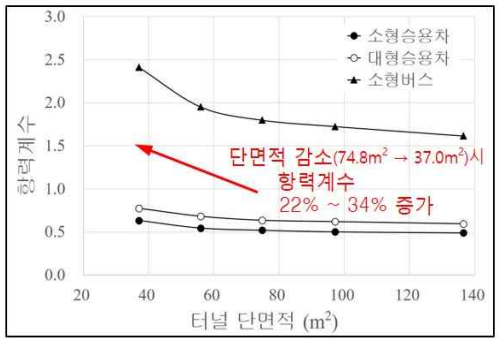
- **항력계수**는 **교통환기력 산정**시 고려되는 **주요인자**

  ☞ **항력계수↑⇒ 교통환기력↑⇒ 기계환기력↓⇒ 환기시설 규모 감소 ⇒ 단면 최적화 유리**

- **항력계수**는 **터널단면적** 및 **대형차 혼입률에 영향**을 **받기 때문**에 **소형차 전용도로 대상 항력계수 재산정 필요 → CFD 해석을 통해 검토**

  * 전산유동해석(Computational Fluid Dynamics) : 유체 운동을 분석 및 예측하는 컴퓨터 시뮬레이션

- **CFD 해석 검토결과**



[터널 내 소형차 주행시 단면적과 항력계수의 관계]

- **터널단면적이 감소**하면 **패색율 증가**로 인해 **항력계수**는 **증가**
- 소형차전용 지하도로의 경우, 내공 단면적 감소(75㎡→37㎡)에 따라 항력계수 22~34% 증가

  ⇒ 등가저항면적(A_m) : 현 기준 대비 소형승합·화물차 혼입률에 따라 5~10% 증가

  - 혼입률 10% : 6.2% 증가
  - 혼입률 20% : 7.2% 증가
  - 혼입률 30% : 8.6% 증가

☞ **소형차 전용 지하고속도로 환기설계시 반영 필요**

○ 지하고속도로 환기 : 환기소 간격 기준

現 **기준**	**지하고속도로 설계기준(안)**
◦ (환기 측면) 환기소 간격 기준 부재 ◦ (방재 측면) 「도로터널 방재시설 설치 및 관리지침」 – 터널 연장이 3km이상인 경우에는 배연을 위해서 환기소 설치 권장	◦ [개선] **소형차 전용 지하고속도로 환기소 설치 간격 기준 제시** – **소형차 전용 지하고속도로**의 **환기소는 5km 간격**을 **초과하지 않도록** 설치하여야 하며, **터널 조건**(경사도 및 구조, 기계식 환기 조건)을 **고려**하여 **적정 거리 선정**하여 **조정**하여야 한다.

개선 사유

- **환기소**는 **지하고속도로**와 같은 **초장대 터널**에서 **외부**의 **신선공기**를 **유입**하여 터널내 **유해가스 농도**를 **기준치 이하**로 **유지**하기 위해서 **필요**한 **시설**
- 하지만, **도시지역**에 건설되는 **환기소**는 주요 **민원** 및 **갈등 요인**으로 관련 사업 추진시 **사업 계획 및 시공 지연** 등 **원활한 사업추진**을 위한 **장애요인**으로 작용
- 따라서, 개소당 **환기 및 배연구간 적정 거리 기준 정립**을 통해 **환기소(수직갱) 및 민원 문제 최소화** 도모
- 소형차 전용 지하도로의 경우 **환기소 최대 설치 간격**은 **5km** 산정

  - **(환기측면) 오염물질 배출량 기준의 현행화** 및 **소형차 전용 지하도로의 높은 교통환기력을 고려할 경우 환기소 적정간격은 최대 5,000m로 산출**

    * **CO** 70ppm을 허용기준으로 하는 경우에는 약 5,845m, **50ppm**을 **허용기준**으로 하는 경우에는 약 **4,185m정도**에 **환기소**를 이용한 **급기** 필요

  - **(방재측면) 집중배기방식**을 적용하는 경우, **배연목적**의 **최대배연구간** 거리는 **2,500m**로 산출 → **환기소** 기준 좌우 **거리** 고려 **총 5,000m**

    * 설치 가능한 축류팬 정압(3,000Pa~4,000Pa)에 따른 최대풍도연장 검토

○ **지하고속도로 환기 : 환기기 운전 비용 절감을 위한 환기기 제어 최적화**

現 **기준**	**지하고속도로 설계기준(안)**
◦ 별도의 기준은 없으며, 환기기 운전제어는 환경계측기로 측정한 실측농도와 설정농도를 비교하여 단순 on/off 제어알고리즘을 통해 환기기 가동 – 실측농도 > 설정농도 : 전체 환기설비 모두 on – 실측농도 < 설정농도 : 전체 환기설비 모두 off	◦ [신규] 지하고속도로 환기시설 계획 시에는 **소요동력 및 운전비용이 최소화**되도록 **환기기 조합에 따른 다 단계의 운전단계를 설정**하고 터널 내 **오염물질 농도 및 농도 변화량에 따라 단계별로 최적화된 운전**이 되도록 **제어체계를 구축**하여야 한다.

신규 반영 사유

• 초장대 지하도로와 같은 **조합환기방식**의 **터널 → 소요환기량 증가 및 수직갱**이나 **집진기**의 **용량 증가**로 인한 **환기기 소요동력 증대**

⇒ 운영단계에서 전력료 등 **유지관리비 부담 감소**를 위해 오염물질 농도에 따라 **최적화된 환기 설비**만이 **가동되도록 제어체계 구축 의무화** 필요

– **환기 전문가**에 의한 **시스템 최적 설계** 및 **제어 최적화 → 환기기 조합별 최적 운전단계선정** 및 **농도변화량**을 **제어입력**으로 하는 **제어로직 적용**

* 환기기 운전조합에 따른 소요동력 및 발생환기량 분석에 따른 최적 운전단계 검토 명문화

* 터널 내 오염물질별 농도 및 농도변화량를 제어입력으로 하는 제어로직 구성

(예시) 운전단계 설정 및 최적 제어

- 제트팬 : 36대(2대 1조 운전) ⇒ 운전단계 19단계(0,2,4,…,34,36대)
- 축류팬 : 30%~100% 회전수 제어 ⇒ 운전단계 9단계(0,30,40,…,90,100%)

☞ 총 운전단계 : 제트팬 19단계 × 축류팬 9단계 = 171단계

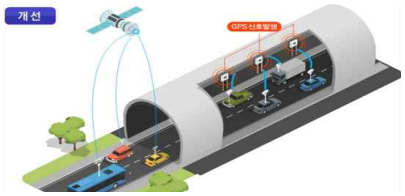
☞ 오염물질 농도에 따라 171단계 중 최적단계를 선정하여 환기설비를 가동하는 제어체계 구축

• **(경제성) 기존** 환기기 운전제어 **방식 대비 수직갱 방식 22.5%, 공기정화방식 37.5%, 횡류환기방식 3.5% 동력비 절감** (환기설비용량은 약 10% 정도 감소)

○ 지하고속도로 안전/부대시설 설치기준 : 본선 및 지하 분·합류부

現 **기준**	**지하고속도로 설계기준(안)**
◦ 터널 내 교통안전시설 관련 기준 산재 - 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 동해설(국토부) - 도로안전시설 설치 및 관리 지침(국토부) - 도시지역 지하도로 설계지침(국토부) - 고속도로 설계 실무자료집(도로공사) - 교통안전표지 설치·관리 매뉴얼(경찰청) - 교통노면표지 설치·관리 매뉴얼(경찰청)	◦ [준용] **지하고속도로(터널) 내 필요 안전시설 및 교통관리시설 기존 기준 준용** ◦ [신규] **교통안전 확보를 위해 안전/부대시설 추가**

GPS 시스템



• **GPS 송출장치**를 **일정 간격**으로 **설치**하여 터널 내에서 GPS 이용 가능

전방 유고 사전 알림 시설 (추돌사고방지)

• **입구 LED 조명 시스템** : 진입 전 내부 소통상황 정보 제공

평시(녹색)	정체(황색)	돌발상황(적색점멸)

• 일정 간격 **속도센서(VDS) 설치**를 통한 **유고상황 감지하고** 후방 차량에 **VMS 등을 통한 경고** 및 전방 정차차량과 추돌방지를 위한 **가변속도 제어**

분기부 VMS 전광판 (정보 및 시인성 강화)

• 지하고속도로 **분기부 교통안전 강화** 및 **공간 활용성 증대**

• **자유로운 프로그램** 및 **표출**이 가능한 **대형 VMS 설치**

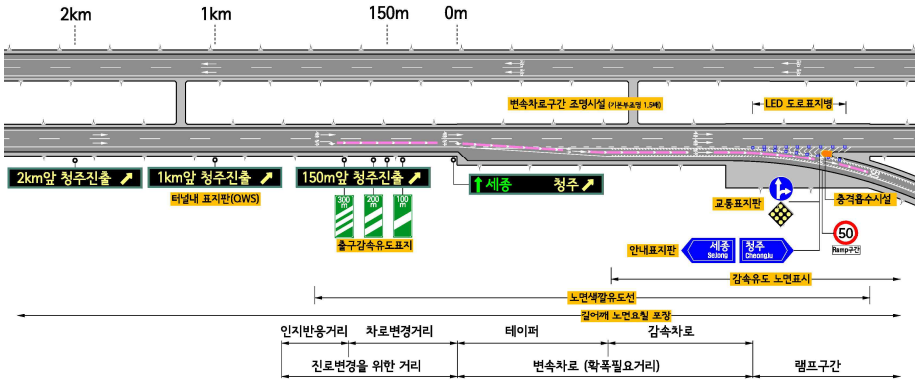
* 분기부 방향표지(안내), 대형 곡선예고표지, 출구부 교통 및 기상현황 등 **다양한 교통정보 동시 및 변환 표출**

○ 지하고속도로 안전시설 및 교통관리시설 : 본선 및 지하 분·합류부 안전/부대시설 설치기준(계속)

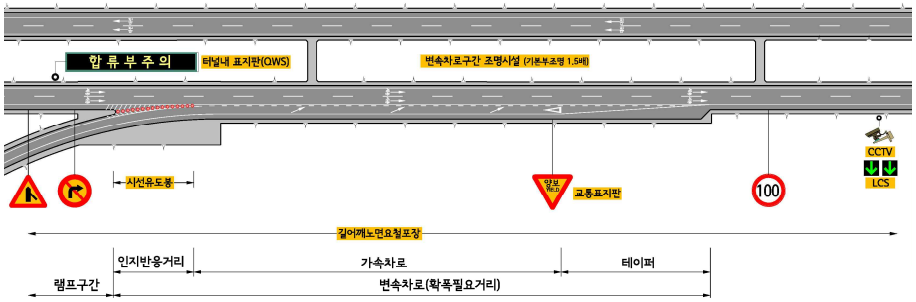
現 기준

◦ 현 기준에 따른 지하 분·합류부 안전/부대시설 설치 예

< 분류부 >



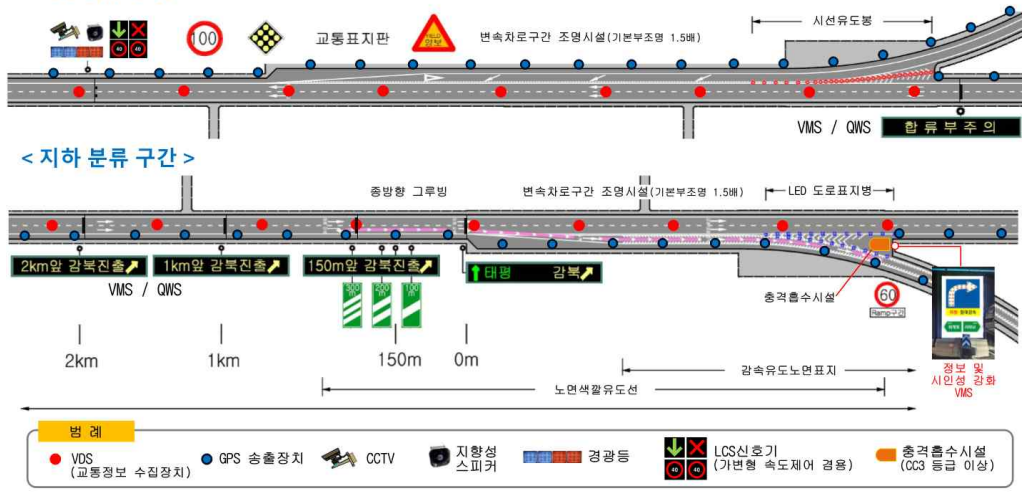
< 합류부 >



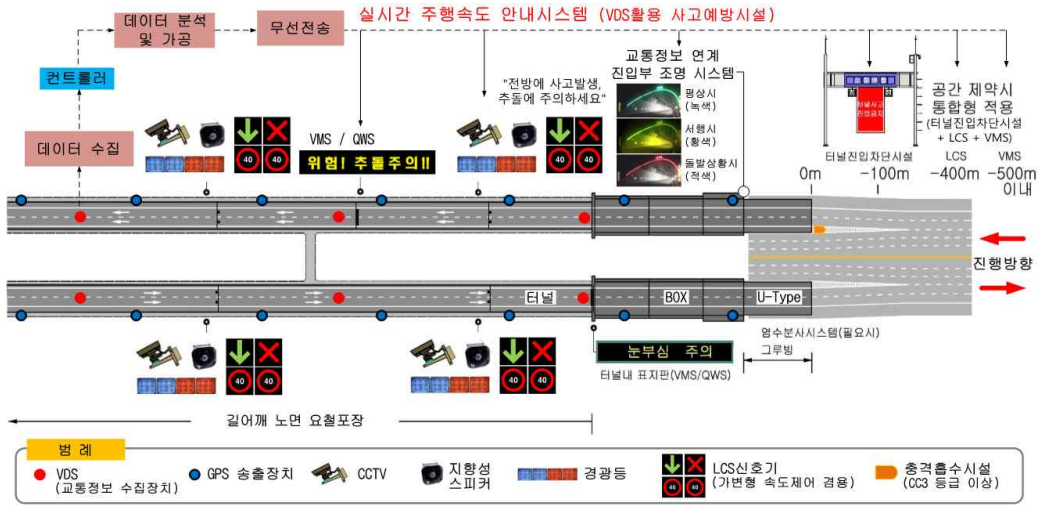
지하고속도로 설계기준(안)

◦ 지하고속도로 지하 분·합류부 추가 안전/부대시설 설치 예

< 지하 합류 구간 >



◦ 지하고속도로 본선구간 추가 안전/부대시설 설치 예



신규 반영 안전/부대시설 상세

□ GPS 시스템

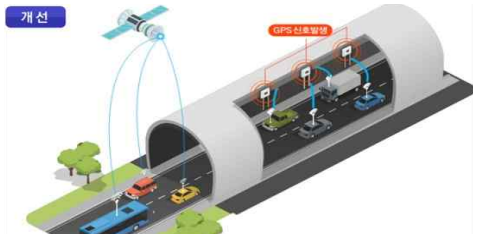
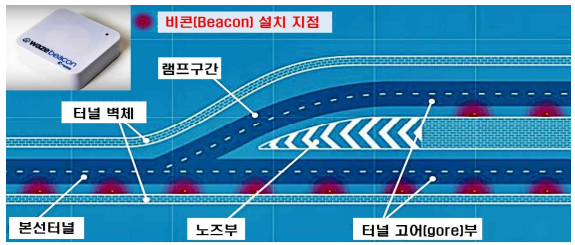
- **필 요 성**

  - 터널 내 네비게이션 안내, ITS를 이용한 교통관리를 위해서는 **GPS를 이용한 차량의 측위가 기본적으로 전제**되어야 하나, 현재 터널 내에서는 벽체로 인해 GPS 수신 불가

- **설계기준(안)**

> 지하고속도로에서 효과적인 교통관리 및 네비게이션 이용 등 이용자 편의성 증대를 위하여 **터널 내 차량의 측위를 위한 GPS 시스템의 설치를 검토**하여야 한다.

- **신호 송출방식에 따른 구분 및 국·내외 적용 사례**

	**<GPS 신호 송출 방식>** - 서울시 남산 1호터널 기술검증 시작('20.6~) - 향후 서울시 지하도로 사업(서부간선지하도로 등) 도입 계획 - 50~100m 간격 설치, 약 100만원/개소 - 퇴계원-판교(31.5km) 적용 시 약 10억원 소요(1,000여개 설치)
	**<블루투스 신호 송출 방식>** - WestConnex(호주) 등 전 세계 약 260km 시공 완료 - 보스턴 Big Dig(미국), SMART터널(말레이시아) 등 도입 확정 - 15m~40m 간격 설치, 약 3.2만원/개소 - 퇴계원-판교(31.5km) 적용 시 약 1.2억원 소요(3,700여개 설치)

신규 반영 안전/부대시설 상세

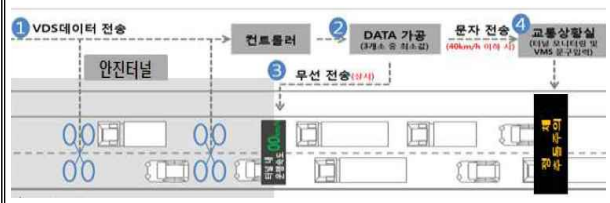
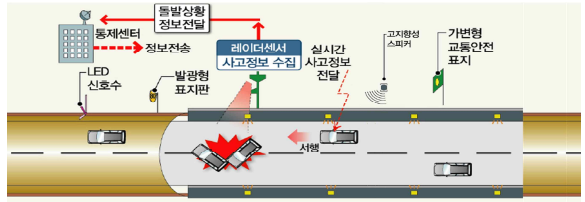
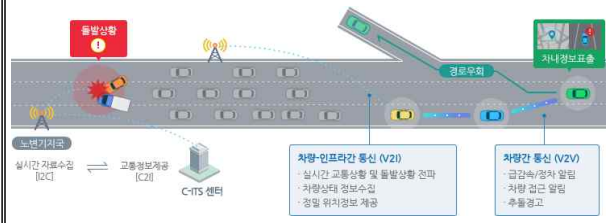
□ 전방유고 사전 알림 시설

- **필 요 성**
  - 지하도로 내부에서는 **벽체로 인한 시거제약**으로 **전방의 유고상황을 미리 인지하지 못해 사고가 발생할 위험**이 있으며, 이 경우 **대형 인명피해로 이어질 우려**
  - 전방의 **유고상황**을 **실시간**으로 감지하여 **후방차량에 알려주고 가변 속도제어**를 통해 **사고를 예방**하는 시설물 검토 필요
    * 터널 내 교통사고로 인한 인명피해
      - 남해선 창원1터널(사망4, 부상56), 중부내륙 상주터널 (사망1, 부상19), 영동선 봉평터널(사망4, 부상16)

- **설계기준(안)**

> 지하고속도로에서는 운전자가 **전방의 유고상황**을 **사전에 충분히 인지**할 수 있도록 **실시간 알림을 제공**하고 **유고 시 가변 속도제어**가 가능한 **시설의 설치를 검토**하여 **사고를 예방하고 원활한 소통을 도모**하여야 한다.

- **시설 설치 개념 및 적용 사례**

개념도	운행속도 및 지·정체 등 감지 (속도센서(VDS), 레이더센서 등 이용) → 정보수집 → 통제센터 또는 통제 시스템 (정보 분석) → 정보전송 → 후방 이용차량에 전방 유고상황 정보 실시간 전달 (시각적(VMS, LCS 등) 및 청각적(스피커 등) 신호 이용 경고)		
적용 사례	 [안진터널 시범적용 사례]	 [승학터널 설계 사례]	 [C-ITS 기술 개념도]

신규 반영 안전/부대시설 상세

□ 분기부 VMS 전광판

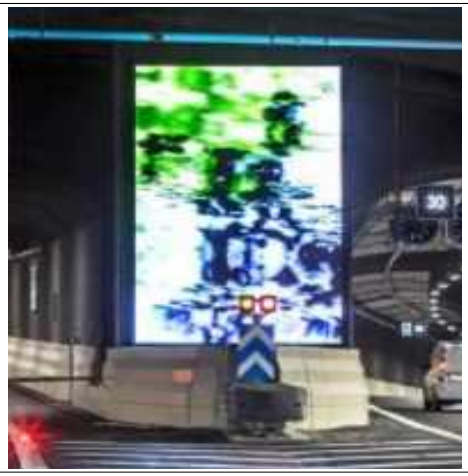
- **필 요 성**

  - 출구부를 뒤늦게 발견하여 발생하는 **무리한 차로변경 사고를 예방**하고, 출구 밖의 실시간 교통정보를 제공하여 **교통량 분산을 유도**하기 위해 **분기 필라부 공간을 활용**한 **VMS 전광판 검토**

- **설계기준(안)**

> 지하고속도로 내 분기 필라부에는 출구의 **시인성을 증진**하고, 운전자에게 **출구 밖의 교통·기상정보를 제공**하기 위하여 **방향표지를 대체하여 VMS 전광판 설치**를 **검토**할 수 있다.

- **시설 설치 개념 및 적용 사례**

		
자유로운 프로그램 표출 - Norra länken(스웨덴) 사례	**출구부의 시인성 증진, 방향안내** - 기존 출구부 방향표지 대체	**출구 밖의 교통·기상정보 제공**

신규 반영 안전/부대시설 상세

□ 운전자 주의 환기 시설 : 경관조명시설 및 벽면 경관 디자인 등

- **필 요 성**

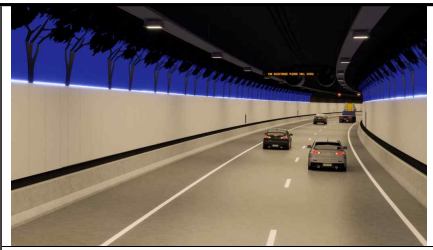
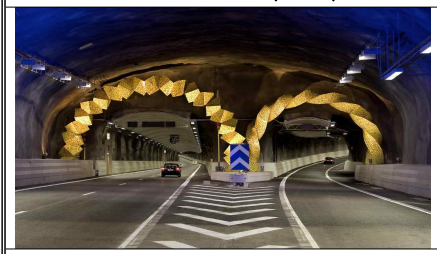
  - 단조로운 환경의 **초장대터널 장시간 주행** → 운전자 **주의력 저하** 및 **졸음** 유발
  - 진입부 **내리막 구간, 분 · 합류 구간** → 운전자 긴장에 따른 **교통안전성 저하**

  ⇒ 운전자 주의력 환기 등을 위한 **경관조명** 및 **벽면 경관 디자인 등** 검토 필요

- **설계기준(안)**

> 초장대 지하고속도로의 장시간 주행에 따른 **운전자 주의력 저하 및 졸음이 예상되는 구간**과 **경로변경, 가·감속 등이 필요한 분·합류 구간**에서는 조명, 벽면 디자인 등을 통해 **운전자의 주의력을 향상시키기 위한 시설의 설치**를 **검토**하여야 한다.

- **적용 사례**

국내			해외		
	동부간선도로 지하화(설계)	인제양양터널		NorthConnex(호주)	야마테터널(일본)
					
	만덕~센텀 지하도로(시공중)	승학터널(설계)		Södra Länken(스웨덴)	E4 Stockholm bypass(스웨덴)

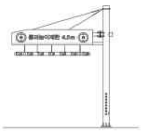
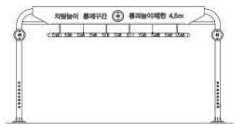
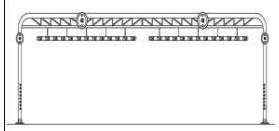
○ 지하고속도로 안전시설 및 교통관리시설 : 소형차 전용 도로 차량진입 제한시설

現 기준

◦ **소형차전용도로 차량진입 제한시설**

- **(표지판)** 도로표지, 안전표지 관련 기준에는 소형차전용도로 표지판에 대한 별도 규정 부재
  * 관련 기준 :「도로표지규칙」,「도로표지 제작·설치 및 관리지침」,「교통안전 표지 설치관리 매뉴얼(경찰청)」

- **(통과높이 제한시설)** 최근 도로공사 자체 규정 마련
  *「통과높이 제한시설 개선방안 도출(구조물처-2934, 2018.11.27.)」

구 분	【형식1】	【형식2】	【형식3】
개념도			
설치비	28 백만원	45 백만원	54 백만원
적 용	도로 폭 5m이하	도로 폭 5~10m	도로 폭 10~20m

(설치기준) 통과높이가 4.7m 미만인 구조물(교량 하부공간 등) 대상
(설치방법) 경우 실제 통과높이를 고려한 제한봉, 제한표지 조정설치

지하고속도로 설계기준(안)

◦ **[개선] 지하고속도로 차량진입 제한시설 적용 기준 정립**

① **예고표지 및 본 표지 설치지점**

- 진입 전 **지상도로 이용조건**을 고려하여 다음 표와 같이 예고표지, 본표지 설치

진입 전 지상도로 조건	예고표지	본 표지
고속도로	2km, 1km, 500m, 150m 지점	지하고속도로 시점
일반도로	1.5km, 500m 지점	

- **예고표지 사이**에는 **VMS를 설치**하고 도로 현황, **제한사항 등 안내**

② **지하고속도로 전방에 유입 연결로 존재시** 노면표시 **노즈부**로부터 **예고표지 최소 이격거리**(판독소요거리+소실거리) **확보**

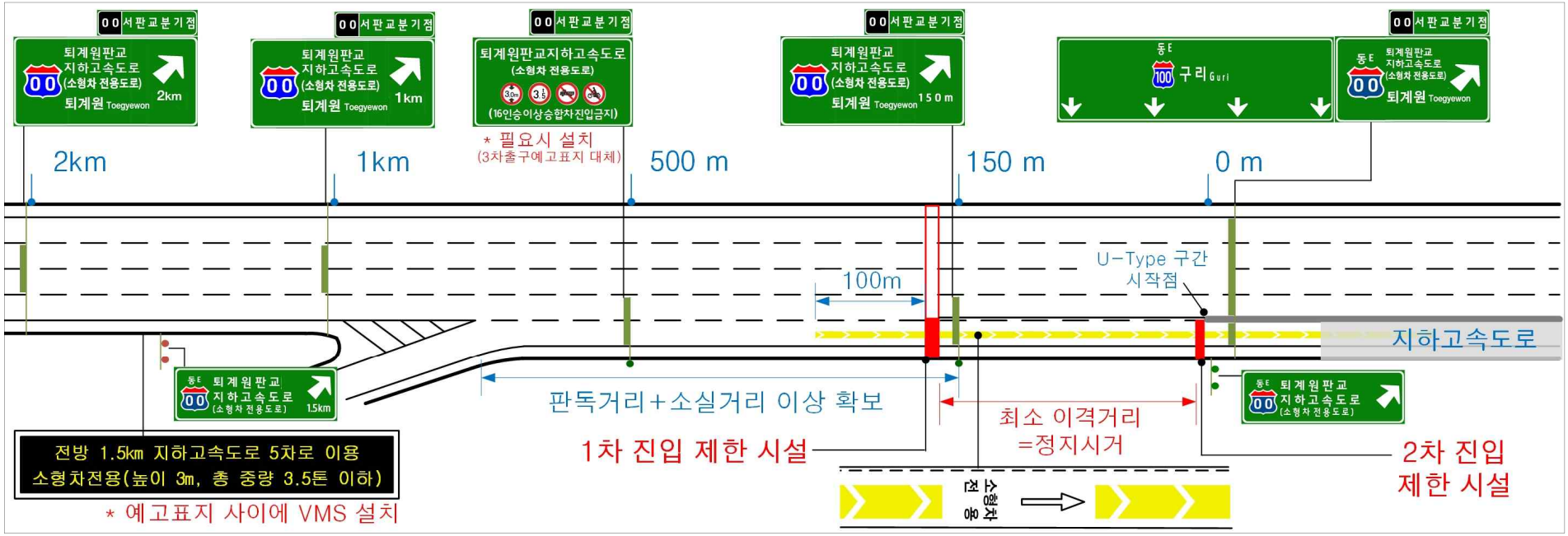
③ **노면표시 설치 규정** : 진입 제한 차량 안내 및 오진입 차량의 원활한 노선 변경 유도
- 1차 높이제한시설과 2차 높이제한시설 구간 사이에는 점선과 실선(진로변경 제한)을 병행설치
- 1차 높이제한시설 전방 100m 지점부터 소형차전용 지하도로 방향안내, 노면표시 및 차로유도선(황색 컬러레인)을 적용하여 운전자 인지 향상 도모

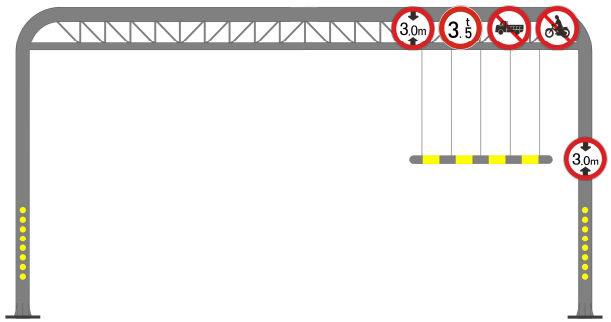
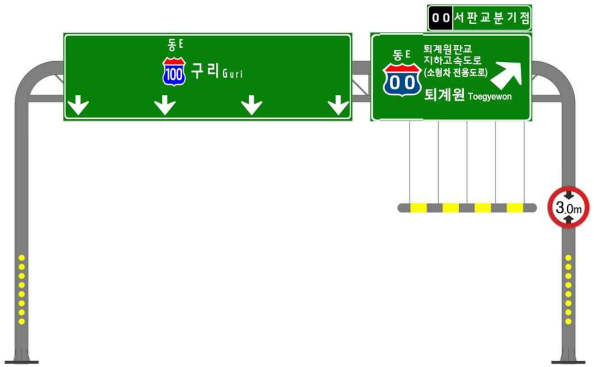
④ 높이제한 시설 : **오진입 차량의 인지**가 가능하도록 **물리적 제한 시설(1차 진입제한시설 및 2차 진입제한시설)**을 **설치**
- 2차 높이제한시설 지하고속도로 시점부 설치 및 1차 진입제한시설과는 정지시거 이상 이격

⑤ **선제적** 및 **능동적 대처**를 위해 **차량 높이 감지 시스템 설치 검토**
  * 자동 모니터링 시스템(또는 인력 감시)에 의해 차량 진입 전 차량 정차 및 회차 유도
  * 차선(또는 노선) 폐쇄시 후방 충돌 사고 예방을 위한 안내 시스템 연동

○ 지하고속도로 안전시설 및 교통관리시설 : 소형차 전용 도로 차량진입 제한시설(계속)

지하고속도로 설계기준(안)



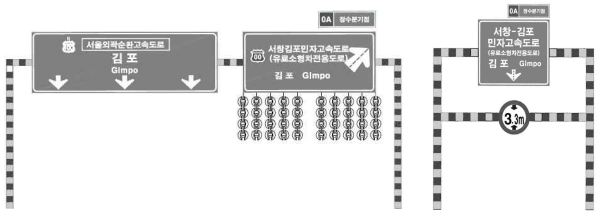
1차 진입제한 시설		2차 진입제한 시설
		
< 단독 설치 예시 >	< 표지 병행 설치 예시 >	

개선 사유

• **지하고속도로**는 **소형차 전용도로 위주**로 **계획** 및 **추진**이 **예상**되며, 지하도로를 소형차전용으로 계획할 경우 **대형차량**의 **진입예방 및 규제**뿐만 아니라 **전 차종 이용 시**에도 **구조물 보호** 및 **이용자 안전 확보**를 위한 **안내, 제어시설 필요**

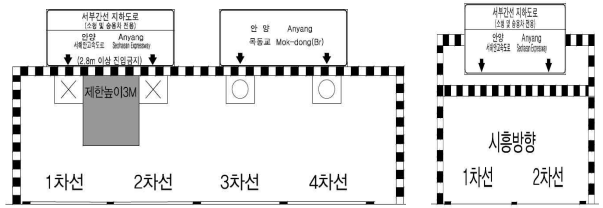
- 지하고속도로 **시점부(진입부)**에 **제한차량 진입차단 방안**을 **설정**
- **운전자**가 **인지** 가능한 **예고조치, 제한 초과 차량 진입 규제** 및 **안전한 유출입을 유도**할 수 있는 **표지판 종류, 높이제한시설 등** 필요 **시설 및 설치위치 규정**

• **(국내 적용현황) 서부간선지하도로, 제물포터널 등** 소형차 전용 지하도로에 높이제한시설 설계 반영 및 시공 중



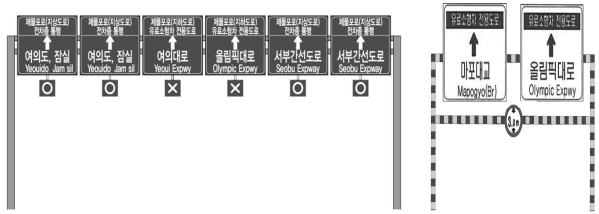
1차 진입제한 시설　　2차 진입제한 시설

[서창김포고속도로(협상중)]



1차 진입제한 시설　　2차 진입제한 시설

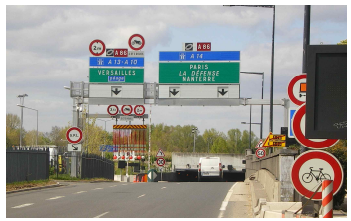
[서부간선지하도로('21.9개통 예정)]



1차 진입제한 시설　　2차 진입제한 시설

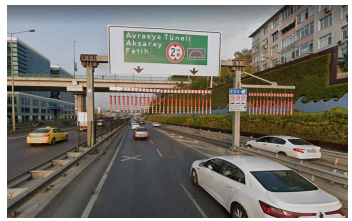
[제물포터널('21.4개통 예정)]

• **(해외 적용현황)** A86, SMART터널 등 승용차 전용 지하도로(터널) 대상 높이제한시설 설치 및 운영 중,

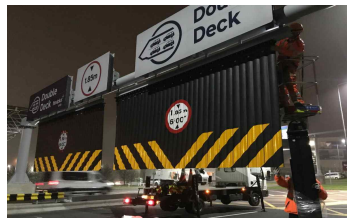


[프랑스 A86]

[말레이시아 SMART터널]



[터키 유라시아 터널]



[영국 Eurotunnel]

- 최근 유럽(네덜란드), 호주 등 **멀티-빔 레이저(multi-beam laser) 등 이용** "높이 제한 감시 및 경고 시스템" 운영 중

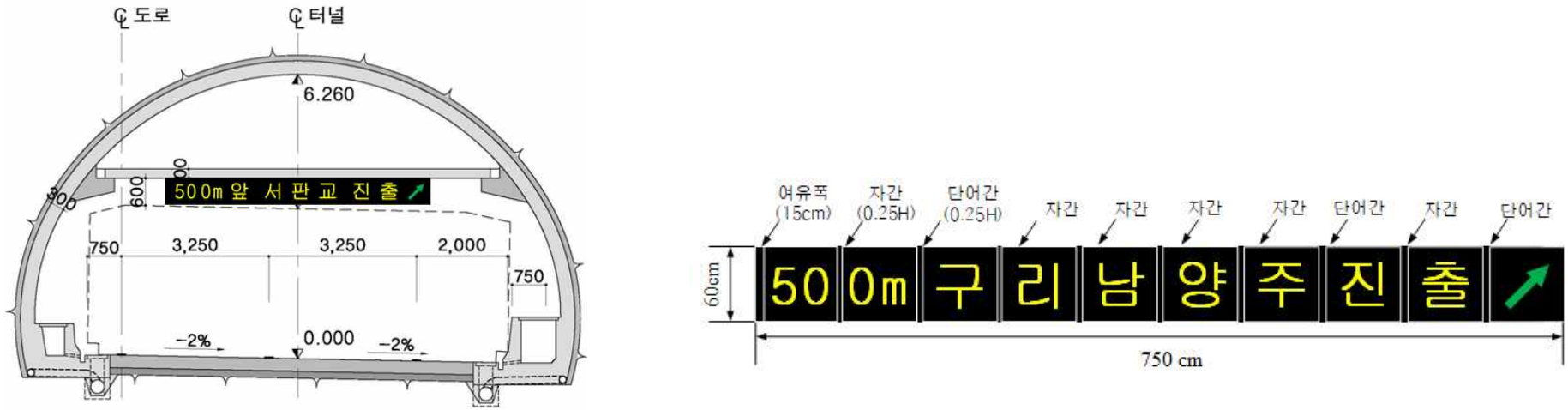
☞ (권고단계) 멀티빔 레이저를 통한 위반차량 감지 → 경고등, VMS표출, 스피커 등을 통해 운전자에게 제한높이 초과 경보 전달 → 우회로 이용 유도

(경보단계) 권고 이후에도 지속적으로 운행 중인 차량 제한 : LCS 등으로 위반차량 이용차로의 속도 점진 하향 → 위반차량 정지 상황 대비

(비상단계) 적색신호 점등 → 위반차량의 비상주차대 정차 또는 서비스차로를 통한 진출

○ 지하고속도로 안전시설 및 교통관리시설 : VMS 설치기준

現 **기준**	**지하고속도로 설계기준(안)**
◦ 도로안전시설 설치 및 관리 지침 -도로전광표시 편- (국토부, 2008) - 터널 전방 또는 내부에 설치되는 도로전광표지(주로 문자식)는 일반 도로 구간의 것보다 그 규격 면에서 소형으로 할 수 있고, 위치 면에서도 일반 원칙과 다르게 적용할 수 있다. - 터널 내부에 설치되는 도로전광표지는 시설 한계를 감안하여 통행에 장애를 주지 않는 규모로 하되, 터널 길이를 감안하여 적정 간격을 두고 연속 설치할 수 있다. ◦ 도로부문 지능형교통체계 설계편람(국토부, 2016) - 터널 내 VMS에 대한 기준은 부재, 터널 외부 VMS에 대한 기준만 있음 - VMS 설치높이는 최소한 6m 이상 확보되어야 함 - VMS 메시지 설계 시 현시당 메시지 정보단위 수는 최대 9단위 이내 - VMS의 경우, 최소 메시지 문자높이는 60cm를 권장함 ☞ **지상 도로에 대한 기준은 존재하나 터널 내 VMS 설치 기준은 부재**	◦ **[개선] 최소 문자 높이** 및 **최대표출 정보** 산정하여 **기준 정립** - 지하고속도로 내 설치하는 VMS의 **한 화면 당 표출정보단위**는 **4 이하로 적용함이 원칙**이며, 부득이한 경우 **소형차 전용도로 기준 최대 8, 전 차종 기준 7까지 적용**할 수 있다. - **VMS 문자높이는 60cm로 함을 원칙**으로 하며, 부득이한 경우 **최대 표출정보단위 4 적용**을 기준으로 **45cm 까지 낮춰 적용**할 수 있다. - **VMS 문자**는 **한 줄**로 **표시**하며, **10문자**를 **넘지 않는 것**이 **바람직**하다. - 지하고속도로 내 **VMS 표준 규격**은 **높이 60cm, 폭 750cm**로 하며, 높이와 폭은 문자 높이 변화 및 표출문자 수에 따라 축소하여 적용할 수 있다.



[기준(안)을 반영한 지하고속도로 터널 구간 VMS 설치 단면 및 문자표출 예시]

개선 사유

• **필요성**

- 산악터널 대비 터널 상부공간 여유고 축소 및 최소화 → 지상도로 도로표지 사용 애로
  * 집중배연방식 등 적용으로 덕트 슬래브 설치 증가, 소형차 전용 지하고속도로 비율이 높을 것으로 예상

⇒ VMS를 이용한 진출부(도로표지 대체) 및 유고상황 안내 등 활용성 증가 예상

⇒ 시설한계, 설계기준자동차 등 고려, 단면 최적화가 가능한 설치기준 정립 필요

• **터널 시설한계, 설계기준자동차에 따른 설치 위치**(높이)**, 운행속도** 등을 **고려**하여 단면 최적화가 가능한 **VMS 설치 기준** 검토

- 국내외 연구문헌 및 지침 등 검토 결과 → 국문은 2줄 이하 적용 바람직, **표시면당 최대 4개 정보**, **줄당 10문자 정도가 적정**

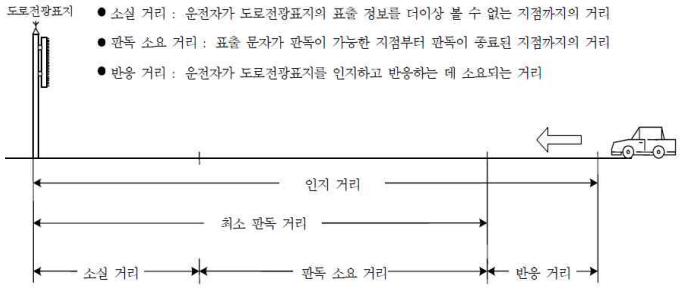
☞ 표시면당 표출정보단위는 지상 최대 9단위 이내이나, **VMS 주시시간 최소화**를 통한 **교통안전성 향상 도모**

* VMS 주시 시간동안 사고 위험성 증가 : 속도 100km/h 조건, 4단위 판독(4초간) → 112m 운행, 9단위 판독(9초간) → 250m

☞ 터널 **단면 증가**에 따른 **경제성 저하**와 **시설한계 고려** 문자는 **한 줄로 표출**

• **문자 높이 검토조건 및 산정결과**

· 설계속도 : 100km/h (주행속도 : 110km/h)	· 운전자 인지반응 시간 : 2초	· 표시면 설치각 : 6°
· 현시당 메시지 정보단위 수 : 4단위	· 정보단위당 판독시간 : 1초	· 표지 중심높이 : 시설한계 높이 + 40cm



판독가능거리 = $304.55\ln$(문자높이) − 969.96 (문자두께 = $0.125H$)

문자높이 = $e^{((\text{판독가능거리}+969.96)/304.55)}$

판독가능거리 = 최소판독거리(MLD) = 판독소요거리(LTD) + 소실거리(LLD)

LTD = 설계속도(m/sec) × 정보단위수 × 정보단위당판독시간(0.5 ~ 1초)

LLD = 표지중심높이/$\tan\theta$ (θ는표지판설치각, 보통6°)

- 설계속도, VMS 설치 위치(높이), 표출정보단위 등 조건변화에 따른 판독 소요 거리 산정 → 적용 가능한 최소 문자 높이 산정
- 검토 결과 : 최소 문자 높이 41cm(소형차 전용), 43cm(전 차종)
  ☞ 표준 문자 높이는 60cm 적용
  · 안전율 및 상용(시판) 중인 VMS용 LED 모듈 규격 고려하여 선정
    * 모듈 최소단위(DOT : 16*16) : 300*300mm(모든 도로에서 사용), 240*240mm(지자체 도형식VMS에서 사용)
  · 부득이한 경우(단면 최적/최소화를 위한 축소 필요시 등) 계산 값을 참고하여 최소 값으로 45cm 까지 낮춰 적용가능
- VMS 표시면 표준규격 산정 ☞ 높이 : 60cm, 폭 : 750cm
  · 최대 적용 가능한 10문자 사용 조건, 모듈 규격, 산정표준 문자높이, 표출정보단위, 지하도로 터널 표준단면 크기, 상용 중인 VMS 모듈 크기 등 종합적으로 고려