

# 고규격 고속도로의 기하구조 설계기준에 관한 기초연구

## Theoretical Review on the Geometric Design Standards for High Type Freeways

김 영 일

(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

최 재 성

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

### 목 차

#### I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위

#### II. 일반사항(총칙)

1. 고규격고속도로의 기능설정
2. 설계속도
3. 설계기준자동차
4. 운전자 시야특성

#### III. 횡단구성

1. 기본사항
2. 차로폭
3. 중앙분리대

#### 4. 길어깨

#### IV. 도로의 선형

1. 최소곡선반경
2. 평면곡선길이
3. 최대직선길이
4. 최소정지시거
5. 종단경사
6. 종단경사변화비율
7. 정지시거결정을 위한 장애물 높이

#### V. 맺 음 말

#### 참 고 문 헌

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

현재 정부는 국내 거점 도시간 거리 한계를 원활히 극복을 통해 국가경쟁력을 강화하고, 아세안 하이웨이와 같은 초대형 도로사업에 적극적으로 참여하기 위해, 기존 고속도로보다 이동성과 편리성이 강화되면서도 안정성이 보장되는 설계속도 160km/h의 고규격 고속도로의 계획을 추진중에 있다. 이러한 고규격 고속도로를 건설하기 위해서는 설계, 시공, 운영 및 관리에 관한 최신 도로분야기술을 종합적으로 검토하고 개발하는 연구개발사업이 필요하다. <표 1>은 고규격 고속도로의 정의와 예상되는 기능 및 목표이다.

<표 1> 고규격 고속도로의 개발목표

정의	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 운전자와 차량과 도로간 결속력이 강화된 고규격도로의 개발</li> <li>- 설계속도 : 160km/h</li> </ul>
기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 빠르고 정시성 확보</li> <li>· 안전하고 지속가능한 도로</li> <li>· 지능형, 친환경적인 도로</li> </ul>
달성 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 도로구조시설물 수명 30%향상</li> <li>· 기존대비 교통사고 위험도 30%감소</li> <li>· 지능형 교통서비스제공으로 도로와 운전자 대화능력 50%향상</li> <li>· 환경오염 (대기,소음,진동) 30%감소</li> </ul>

본 연구는 고규격 고속도로의 기하구조 설계시 반드시 고려해야 할 설계요소들을 미리 이론적으로 검토함으로써 고규격 고속도로 설계 연구개발 사업에 기본적 방향을 제시하고, 핵심 연구내용을 학술적으로 논의하여 전문가 그룹 내부의 공감대를 형성하는데 그 목적이 있다.

### 2. 연구의 범위

본 연구의 내용적 범위는 설계속도를 160km/h로 적용하였을 때 직접적 영향을 받게 될 것으로 예상하는 도로 기하구조 설계 요소들을 대상으로 한다. 여기에는 일반적 사항으로 설계기준차량, 평면선형요소에서 최소평면곡선반경, 편경사 및 횡방향 마찰계수, 최소정지시거, 종단선형요소에서 종단경사 등이 포함되었다. 연구의 수행 방법은 이론적 검토로 국한했다.

## II. 일반사항(총칙)

### 1. 고규격 고속도로의 기능설정

고규격 고속도로 도입시 전체적인 국가기반망은 한 차원 높은 도로의 출현으로 인해 보다

높은 상위서비스 영역을 구축하고, 이에 다른 전체 국가 도로의 기능 조정 작업을 선행되어야 한다.

강 등(2006)은 고규격 고속도로의 기능과 역할을 다음 <표 2>에서 보듯이 “기존 고속도로와 구별되도록 기존 고속도로의 상위개념으로서 주요 거점지역을 연결하는 장거리통행을 위한 승용차(버스포함) 전용도로”로 기능을 정립하였으며, 본 연구에서는 이를 수용하였다.<sup>3)</sup>

<표 2> 고속도로 등급 재조정 방안

구분	역 할 과 기 능	설계속도 (kph)
고규격 고속도로	주요 거점지역을 연결하는 장거리통행을 위한 승용차전용도로	160
고속도로 1	지역과 지역을 연결하는 고속주행이 가능한 자동차전용도로	100~140
고속도로 2	산악지역이나 교통수요가 적은 네트워크 단부 연결	80~100

자료: 강정규, 이기영(2006), 초고속도로 개발전략, 대한교통학회 제52회 학술발표회 논문집

## 2. 설계속도

“도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”에서는 설계속도를 차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 물리적 형상을 상호 관련시키기 위해 정해진 속도로서, 도로설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건하에서 운전자가 도로의 어느 구간에서나 쾌적성을 잃지 않고 유지할 수 있는 최고속도라고 정의하고 있다.

그러나 같은 설계구간이라도 직선부와 곡선부에서 나타나는 실제 주행속도가 다르기 때문에, 주행속도를 이용하여 도로의 선형설계 요소별 적정속도를 검토하는 것이 합리적이라 할 것이다.

ASSHTO(2001)는 주행속도가 설계속도보다 높아지는 것을 우려하여 “도로의 다양한 기하구조 설계특징을 결정하기 위해 선택한 속도로 도로의 기능, 지역, 지형, 예측 주행속도에 따라 결정하여야 한다”고 주행속도의 개념을 도입했으나 구체적인 기준은 제시하지 못하였다.<sup>11)</sup>

독일 및 호주의 경우에는 도로의 등급에 따른 설계속도를 적용하여 초기선형을 결정하고, 85백분위 주행속도 예측 및 평가의 반복과정을 거쳐 최종 설계속도를 결정하여 선형 및 제원을 결정하고 있다.

정 등(2005)은 99백분위 속도는 바람직한 기

준이며, 50백분위 속도는 한계최소기준으로, 85백분위 속도는 일반적인 최소기준으로 정의하고, 이를 바탕으로 도로기하구조 설계기준 방법론을 정립할 수 있을 것으로 판단하였다.<sup>4)</sup>

이처럼 85백분위 예측주행속도( $V_{85}$ )를 설계속도로 적용할 경우 설계속도를 초과하여 주행하는 15%의 이용자(과속차량)들은 안전하지 못하거나 불편한 상태에서 도로를 이용하게 될 수도 있지만, 경제성, 환경성, 안전성뿐 아니라 수요자의 특성을 감안한 설계개념으로 합리적인 개념으로 판단한다.

강 등(2006)은 “초고속도로 개발전략”에서 고규격 고속도로의 설계속도는 160km/h, 최고 주행가능속도를 200km/h로 설정 하였는 바, 본 연구에서도 이를 수용하여 85백분위 예상 주행속도( $V_{85}$ )를 160km/h로 설정하고, 이를 설계속도( $V_D$ )로 적용하였다.<sup>3)</sup>

## 3. 설계기준자동차

설계기준자동차는 도로의 폭, 곡선부의 확폭, 시거, 최소곡선반경, 최대종단경사 및 오르막길이, 하중에 따른 포장구조 결정등에 활용되기 때문에 도로 설계시 중요한 요소중 하나이다.

고규격 고속도로는 설계속도가 160km/h로 다양한 차종이 혼합될 경우 차량 속도차에 의해 교통사고의 위험도가 증가한다.

특히, “자동차 안전기준에 관한 규칙”에 의해 총 중량 16톤 이상의 화물자동차는 최고제한속도가 90km/h에 불과하여 다른 차량과 상충이 많이 발생한다. 이에 따라 상대적으로 차량의 성능이 떨어지는 화물자동차에 대한 진입허용은 문제가 있다.


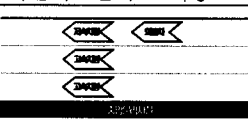
본 연구에서는 아래의 이유로 차량의 최소 주행가능 속도가 100km/h이상인 차량으로 통행을 제한해야 할 것으로 판단되어 설계기준차량은 대형자동차(버스)로 설정하였다.

화물자동차를 배제한 이유는 우선, 화물자동차의 최고제한속도는 “자동차안전기준에 관한 규칙”에 의해 90km/h이며, 오르막 종단경사 구간에서 급격한 속도저하현상이 발생한다. 둘째, 화물자동차의 통행을 허용하게 될 경우, 안전측면에서 속도차에 의한 사고위험도를 감소시키기 위해 더 많은 차로수를 요구하게 되므로 경제성 측면에서 더욱 불리하다.

그러므로 고규격 고속도로에서는 화물자동차

의 통행을 배제하고, 기존 고속도로에 화물자동차 전용도로등을 설치하는 방안등 화물자동차를 별도로 배려할 수 있는 방안연구가 필요하다.

<표 3> 화물자동차 운행허용에 따른 비교

구분	승용차전용체계	혼합형 운영체계
방법	-승용차만 이용	-화물차 진입 허용 -지속차량과 화물차는팔차로 이용
개요		
장단점	-2차로 건설로 도로건설비 최소화 가능하여, 혼합형 운영체계에 비해 경제성 높음 -혼합형 운영체계에 비해 속도차감 소하여 대형사고 가능성감소 -스마트한 도로 운영체계 가능 -화물자동차 배제로 수익성 일부 저하 -물류업계의 반발 우려	-최소 3차로 이상 필요 -도로 사업비 증가로 경제성악화 -차로별 도로시설물 차등적용필요 -차로위반 등 단속의 한계로 속도차에 의한 사고 가능성 높음 -고속주행차량의 반발우려

#### 4. 운전자 시야 특성

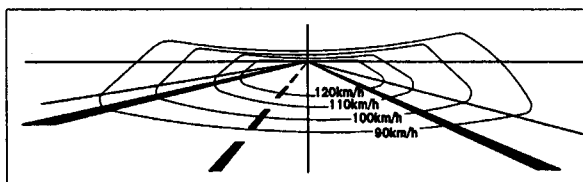
도로의 선형을 형성하는 노면과 선형은 운전자들에게 시각적 원근점으로 인식되면서, 운전자들에게 학습효과를 준다. 이러한 학습효과에 의해 운전자들은 주행속도를 결정하게 되고, 적절한 가감속을 하게 된다. 이에 따라 운전자들이 도로앞의 상황을 볼 수 있는 효과적인 가시지역은 운전자의 지각을 보장하는 것으로 매우 중요한 요소이다.

운전자는 주행중 유효한 가시지역은 시야각과 초점거리에 의해 결정되는데, 주행속도가 증가함에 따라 시야각이 줄어들고, 초점거리가 길어지게 된다. <표 4>와 <그림1>은 운전자가 속도를 증가시킬 때 운전자의 주의가 구체화되는 예상 공간의 축소를 보여주고 있다.

<표 4> 속도, 가시지역, 초점거리사이 관계

속도(kph)	90	100	110	120
시야각(°)	50	40	32	24
초점거리(m)	500	600	700	750

자료 : Ministry of Transportation of the British Columbia In Canada, Manual of Aesthetic Design Practice



<그림 1> 운전자의 예상공간

그러므로, 고규격 고속도로의 설계에서 고려해야 되는 사항들은 이러한 예상 공간내에서 도로를 최적화하여야 하는 것이다. 이를 위해 고규격 고속도로는 선형제원이 좋아 과속이 예상되나, 선형상 단조로움이 예상로움이 예상되어 졸음이 발생할 수 있는 우려가 있다. 그러므로 이를 방지하기 위해서 운전자들에게 지루함과 피곤함을 효과적으로 제어할 수 있도록 해야 한다.

"Manual of Aesthetic Design Practice"는 최소한 5~10분마다 운전자에게 새로운 관심거리를 제공하기 위해, 도로 주변에서나 그 외 다른 지점에서의 다양한 경관을 고려하여 계획하여야 하며, 운전자의 관심대상에 따른 관심도의 지속시간에 대해 다음 <표 5>를 제시하였다.<sup>13)</sup>

<표 5> 운전자의 시각적 인식지표

지속시간(분)	관심대상
1~5분	경관주차대
1~7분	휴게소, 전망대
2분	산정상부 같은 랜드마크 직선구간 - 경치변화
3분	도로진입점 랜드마크에 집중하도록 계획된 직선
5분	상업서비스지역의 접근 직선구간 - 추월기회
8분	중앙분리대의 단차분리
10분	곡선구간 선형

자료 : Ministry of Transportation of the British Columbia In Canada, Manual of Aesthetic Design Practice

고규격 고속도로 설계에서는 이와 같은 운전자의 시각적 특성을 고려하여, 운전자부하를 경감시킬 수 있는 도로 선형, 진출입시설, 휴게소 등 시설물간 배치간격 등을 결정해야 할 것이다.

### III. 횡단구성

#### 1. 기본사항

도로의 횡단면 구성은 계획도로의 기능에 따라 구성되는데, 설계속도가 높고 계획 교통량이 많은 노선에 대해서는 높은 규격의 횡단구성요소를 갖춰야 한다. 또한 교통의 안전성과 효율성을 고려하여 요구되는 계획수준에 적응할 수 있는 교통처리능력을 가져야 한다.

특히, 넓은 폭의 횡단구성은 교통용량을 증가

시키고, 쾌적성 및 안전성을 향상시킨다. 본 연구에서는 차도, 중앙분리대, 길어깨를 살펴보고 일부 국가에서 적용되고 있는 클리어존에 대해 검토하였다.

## 2. 차로폭

차량의 통행기능상 설계속도가 높거나 대형차의 혼입률이 높을수록 넓은 차로폭을 요구한다. 특히, 설계속도가 증가할수록 차로폭은 차량의 횡적인 움직임을 수용할 수 있어야 하며, 좁은 차로폭에서는 바퀴의 집중현상에 의한 도장의 파손과 길어깨의 잦은 보수 및 도로용량 감소 측면을 고려해야 하므로 적절한 차로폭을 갖는 것이 바람직하다.

ASSHTO(2001)에서는 한 개 차로폭이 13ft (3.97m)를 초과하는 경우 차로폭이 지나치게 넓어 교통사고를 초래할 우려가 있으며, 일본 “도

로 구조령의 해설과 운용”에서도 승용차의 속도가 100kph일때 중차량의 혼합율에 따라 다소 차이가 있지만 차로당 3.6~3.75m가 필요한 것으로 제시하였다.<sup>10),11)</sup>

이를 통해 볼 때 고규격 고속도로의 차로폭은 최소한 현재 적용되는 3.6m이상, 최고 4.0m 사이가 적절하며, 일반적으로 0.25m단위로 설계되는 것을 감안할 때 3.75m를 적용하는 것이 타당할 것으로 판단한다.

그 이유는 첫째, 화물자동차 통행이 최대한 억제됨으로서 주행중 옆차로에 대한 측방여유가 상대적으로 증가하였으며, 둘째, <표 6>에서 보듯이 독일의 아우토반등 설계속도 140kph의 도로에서 적용되는 넓은 차로폭으로 안전성이 검증된 것으로 보이기 때문이다.

## 3. 중앙분리대

중앙분리대는 차로의 왕복방향별 분리, 차량

<표 6> 세계 각 국의 횡단구성요소 비교

국가	설계속도	차로폭	중앙분리대	길어깨
브라질	-	3.75 m	2.0 to 6.0 m	3.0m left; 1.0m right
중국	-	3.5 to 3.75 m	1.5 to 3.0 m	2.0 to 3.25 m
덴마크	120kph	3.5 m	3.0 m	3.5 m
프랑스	130kph	3.5 m	12m; 3m curbed	3.0 m +0.75m unpaved
독일	140kph	3.5 to 3.75 m	3.0 to 3.5 m	2.0 to 2.5m paved 1.5 m unpaved
헝가리	-	3.75 m	3.0 m	4.0 m
인도네시아	-	3.5 to 3.75 m	2.0 to 2.5 m	1.5 to 4.0 m
이스라엘	-	3.75 m	3.0 m	3.0 m
일본	120kph	3.5 to 3.75 m	2.0~4.5 m	2.5m
네델란드	120kph	3.50 m	12.0 m	1.25 m
폴란드	-	3.5 to 3.75 m	3.5 to 5.0 m	2.5 to 3.0 m
포르투갈	-	3.75 m	2.0 to 6.0 m, curbed	3.0 m left; 1.0 m right
남아프리카공화국	-	3.70 m	-	> 2.0m
스페인	120kph	3.5 to 3.75 m	10 to 12 m; 3.0m curbed	0.5 to 1.0m left; 2.5 to 3.0m right
스위스	120kph	3.75 to 4.0 m	3.5m; 2.0m curbed	1.0 to 2.5 m
미국	110kph	3.6 m	Minimum 3.0 m	3.0 to 3.6m right; 1.2 to 3.6m median
유고	-	3.5 to 3.75 m	4.0 m	1.5 m
그리스	-	3.5 to 3.75 m	3.0 to 3.5 m	2.0 to 2.5m paved; 1.5 m unpaved
베네스엘라	-	3.6 m	-	2.4m left;1.2m right
체코	-	3.5 to 3.75 m	-	1.5 to 2.5 m
영국	120kph	3.6m	4.5 m	-
한국	100/120kph	3.6m	3.0 m (구조불부 2.0m)	2.5m

자료 : Ruediger Lamm외(1999), Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, Mc GRAW HILL

통행에 필요한 측방여유폭의 확보 및 기타목적으로 설치되는데, <표 6>에서 보듯이 세계적으로 중앙분리대 형식을 연석형(curbs)으로 설치한 나라들의 중앙분리대 폭은 2.0m~4.0m인 것으로 조사되었으며, 최대 10~12m를 나타내고 있다.

우리나라를 비롯한 대부분의 국가들은 중앙분리대 폭을 3.0m를 확보토록 하고 있으나, 미국의 경우 6차로 이상일 때 6.6m(가급적 7.8m), 일본 4.5m(특례 3.0m)를 적용하는 등 중앙분리대의 폭을 충분히 넓게 확보하고 있다.

중앙분리대 폭을 결정함에 있어 고려해야 할 사항에 대해 살펴보면 1차로를 주행하는 차량의 경우 주행속도가 160km/h이상의 초고속임을 감안하여 중앙분리대 충돌시 대형사고 발생우려가 높다. 그리고, 도로용지의 취득 및 경제성 등을 고려하여 콘크리트 방호벽 형식으로 설치하는 국내의 경우 중앙분리대로 인해 최소정지시거의 부족현상을 일으키는 경우가 일부 구간에서 발생하고 있다.

이를 통해 볼 때, 고규격 고속도로의 중앙분리대는 녹지로 분리된 중앙분리대 형식이 가장 바람직하나, 용지취득의 어려움 및 경제성 등을 고려하여 시거확보가 되도록 확폭된 중앙분리대가 적용 가능성이 높은 것으로 판단한다.

<표 7>은 설계속도 160kph에서 정지시거 364.1m 확보(이상기후시 설계속도의 85%를 적용할 때 시거)를 위해 곡선반경에 따른 중앙분리대 폭을 보여주고 있다. (미끄럼 방지포장등을 통해 마찰계수를 높여 확폭량을 감소시킬 수 있음)

<표 7> 곡선반경별 시거확보를 위한 중앙분리대폭

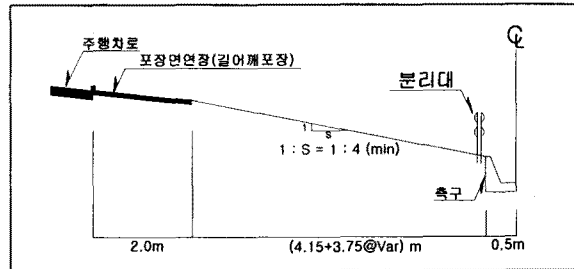
곡선반경 (m)	시거확보를 위한 중앙종거(m)	중앙분리대폭 (m)
3,544.62	4.675	5.60
2,920.02	5.675	6.60
2,482.56	6.675	7.60
2,159.10	7.675	8.60
1,910.21	8.675	9.60
1,712.78	9.675	10.60
1,552.33	10.675	11.60

주) 종단경사 미고려시임.

직선구간에 설치되는 중앙분리대의 경우 양측으로 비상시 차량이 중앙분리대에 붙여 차량을 정차시킬 수 있도록 최소한의 폭 2.5m와 분리대 폭 60cm를 포함하여 총 5.6m로 제안한다.

만약, 고규격고속도로의 장래수요가 충분히

많을 것으로 예상될 경우에는, 향후 확장이 필요할 경우 중앙분리대 내측으로 차로를 포장할 수 있는 분리형 중앙분리대가 바람직하다. 그러기 위해서는 확장 후 최소폭 5.60m를 확보할 수 있는 11.6m의 중앙분리대 폭원을 제안한다. 물론 이 경우에도 곡선반경에 따른 확폭을 고려되어야 한다. 또한 분리된 중앙분리대 사용시에는 최소한 1:4이상의 경사도로 계획하여 중앙분리대로 이탈된 차량이 전복되지 않고, 차로로 복귀할 수 있도록 하고, 정점부에 분리대를 설치하여 반대편 차로로 침범되지 않도록 해야 할 것이다.



<그림 2> 분리형 중앙분리대의 적용

#### 4. 길어깨

길어깨는 차도부에 접속하여 도로의 주요 구조부를 보호하고, 측방여유폭으로서 교통의 안전성과 쾌적성에 기여하고, 대피차로, 비상차로로 사용되는 구간이다.

앞의 <표 6>에서 보듯이 길어깨는 세계적으로 2.0~4.0m를 확보하고 있다. 국내 고속도로의 경우 토공부에서는 3.0m, 터널 및 교량등 구조물부에서는 2.0m를 확보하고 있다.

그러므로 더 이상의 길어깨 폭 확보는 큰 의미가 없을 것으로 판단되나, 중앙분리대와 마찬가지로 곡선반경별로 시거확보를 위해 길어깨가 확폭 되어야 한다.

<표 8> 곡선반경별 시거확보를 위한 길어깨 폭

곡선반경 (m)	시거확보를 위한 중앙종거(m)	길어깨 폭 (m)
3,399.20	4.875	3.00
2,820.61	5.875	4.00
2,410.34	6.875	5.00
2,104.27	7.875	6.00
1,867.17	8.875	7.00
1,678.09	9.875	8.00
1,523.78	10.875	9.00

주) 종단경사 미고려시임

그러나, 충분한 폭원을 확보하고 안전시설을

설치하더라도, 운전자의 판단실수(예를 들어 핸들과대조작 등)으로 도로이탈이 발생할 수 있다. 이 경우 160km/h로 주행하던 차량이 현재 적용하고 있는 성토부 법면경사 1: 1.5으로는 도로이탈시 차량전복등 대형사고의 우려가 매우 높다. 이에 따라 외국에서는 길어깨의 법면경사를 1: 2~1: 6를 적용하여 도로이탈차량이 복귀할 수 있는 여지를 조성하고 있다. 또한 길어깨로부터 1.5~6.25m까지 노변을 확장하거나, 법면경사도를 1: 3보다 완만하게 적용할 경우 도로 이탈사고시 발생하는 차량전복 등 대형사고를 예방할 수 있는 것으로 연구되고 있다.

이상의 결과로부터 적어도 h=1.5m까지는 법면경사를 1: 4를 적용하여 6.0m의 클리어 존을 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단한다. h가 1.5m를 초과하는 경우에는 현재의 경우와 같이 1:1.5를 적용하되 가드레일을 설치하여 차량이탈을 최대한 방지하여야 한다. 이 경우 곡선반경 1,500m를 적용하더라도 길어깨부의 확폭은 불필요하다.

#### IV. 도로의 선형

##### 1. 최소곡선반경

평면선형은 자동차의 주행궤적을 따르도록 직선, 원곡선, 완화곡선으로 구성되어 있으며, 고규격 고속도로의 평면선형과 관련하여 본 연구의 검토내용은 평면곡선반경, 곡선반경과 관련된 편경사 e와 마찰계수 f의 배분문제, 정지시거 등이 중요한 요소이다.

최소곡선반경은 도로의 곡선부를 주행하는 자동차에 가해지는 원심력이 타이어와 노면간의 마찰력을 초과하지 않으면서, 쾌적하게 주행할 수 있도록 하기 위해 결정된 기준이다.

곡선반경 결정식은 다음과 같다.

$$R \geq \frac{V^2}{127(e+f)}$$

위의 곡선반경 결정식을 보면 곡선반경은 고정된 설계속도에서 편경사와 횡방향 마찰계수의 값에 따라 결정한다.

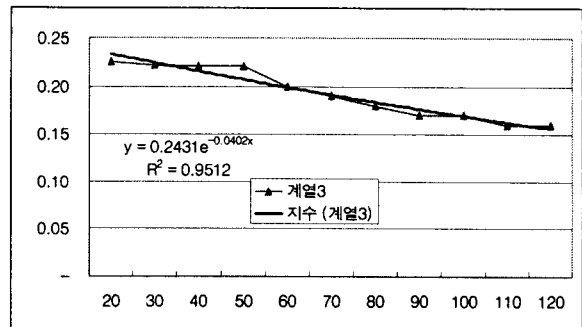
횡방향 마찰계수 f는 평면곡선부주행시 원심력이 작용하게 되며, 이때 그 힘에 반하여 타이어와 포장면에 작용하는 수직력이 횡방향 마찰력으로 변환되는 정도를 나타내는 것이다. 횡방향 마찰계수는 속도가 증가할수록, 습윤, 빙설 상태일수록, 타이어 마모정도에 따라 감소한다.

현재 적용되고 있는 횡방향 마찰계수의 실측치는 노면의 조건 및 주행속도에 따라 0.2~0.8까지의 값을 다양하게 나타내고 있으나, 설계시에는 실측치를 사용하는 대신, 운전자의 주행패적성을 감안한 Ball-Bank Indicator에 의한 횡방향 마찰계수를 설계마찰계수로 사용하고 있다. 이 값들은 설계속도별로 0.10~0.16의 값을 보이는데, 운전자 안전측면에서 충분한 값을 적용한 것으로 판단한다.

한편, 편경사는 평면곡선부 주행시 횡방향 마찰력과 더불어 포장면에 수직으로 작용하는 분력으로, 운전자에게 불쾌감을 주는 횡방향력을 작게 하기 위해 편경사를 설치하게 된다.

편경사가 너무 클 경우에는 부자연스러운 핸들조작 및 결빙시에 횡방향으로 미끄러질 위험도가 증가하므로 국내의 경우 8%까지 편경사를 적용할 수 있도록 되어 있다.

그러나, 평면곡선반경 결정을 위한 편경사와 횡방향 마찰계수의 값을 알기 위해서는 많은 연구가 필요함에 따라 본 연구에서는 두 값을 더한 ( e + f )를 이용하여 최소곡선반경을 살펴 보았다. 이를 위해 “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”에서 제시한 ( e + f )의 합력을 추세식으로 연장시켜 설계속도 160km/h에서 약 0.133의 값을 도출하였다.



<그림 3> e+f의 합력 추정식

( e + f )의 합력 추정치 0.133를 적용하여 산출한 최소곡선반경 산정결과 설계속도 160kph에서 1,500m이상 확보되어야 한다.

<표 9> 설계속도별 e+f의 추정치 및 최소곡선반경

설계속도 (kph)	e+f	최소곡선반경 (m)
80	0.180	280
100	0.170	463
120	0.160	709
140	0.144	1,071
160	0.133	1,515

180	0.123	2,079
200	0.113	2,781

그러나, <표 10>에서 보듯이 횡방향 마찰계수  $f$ 의 최소값을 0.05라 가정하고, 160km/h의 속도에서 곡선반경별  $e$ 와  $f$ 의 배분을 살펴보면 최소곡선반경 1,500m에서 편경사가 7%를 초과하고 있으므로, 고규격 고속도로의 최소곡선반경은 2,000m, 편경사는 4%가 합리적으로 판단하였다.

<표 10> 설계속도 160km/h에서 곡선반경별 편경사와 마찰력의 배분

곡선반경 (m)	e+f	f	e
1,500	0.134	0.05	7.4%
2,000	0.101	0.05	4.1%
2,500	0.081	0.05	3.1%
3,000	0.070	0.05	2.0%(NC)
3,500	0.070	0.05	2.0%(NC)
4,000	0.070	0.05	2.0%(NC)

평면곡선반경과 관련된 추가로 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

첫째, 높은 마찰력이 요구되는 상황에서 다른 요인들(운전조작에 의한 마찰력 등)도 운전속도를 통제하는데 영향을 미치게 되므로 테스트베드 건설을 통한 현장실험이 필요하다.

둘째, 설계속도 160km/h로 곡선구간 주행시 합력으로 작용하는 ( $e + f$ )를 산정하기 위해서는, 포장재료별로 에서 횡방향 마찰계수의 값과 편경사의 최대값에 대한 연구가 필요하다.

셋째, 전체 편경사 변화구간을 직선과 원곡선구간에 배분하기 위한 방법으로 직선구간에 변화량의 2/3, 곡선구간에 변화량의 1/3을 배분하고 있으나 원곡선 시점에서 완전한 편경사가 시작되면 편경사가 불필요한 직선구간에 편경사가 발생되고, 원곡선부에 설치될 경우 바람직한 편경사보다 적은 편경사가 설치된 구간이 곡선구간내에 발생하게 되는 문제점이 있으므로, 이에 대해서도 적정성 검토가 필요하다.

## 2. 평면곡선길이

평면 곡선부를 주행할 때 곡선의 길이가 짧으면 운전자는 곡선방향으로 핸들을 조작하였다가 직선부로 진입하기 위해 핸들을 급조작하기 때문에 운전자는 횡방향의 힘을 받게 되어 불쾌감을 느끼게 되고, 특히, 고속주행시 안전에 좋지 않은 영향을 준다. 또한 교각이 적은

경우 평면곡선의 길이가 실제 크기보다 적게 보이거나, 심한 경우 도로가 꺾인 것처럼 보여져 감속하거나 다른 차로를 침범한다.

그러므로 평면곡선의 최소길이는 운전자가 핸들조작에 곤란을 느끼지 않아야 하며, 도로교각이 적어 평면곡선반경이 실제의 크기보다 작게 보이는 착각을 피할 수 있도록 해야 한다.

<표 11>에서 보듯이 “도로구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”에서는 설계속도로 4초간 주행한 거리를 최소평면곡선의 길이로 설정하고 있다. 그러나 미국과 일본의 경우에 비해 작은 값을 사용하고 있어 최소평면곡선길이는 최소 6초가 주행하는 270m 또는 설계속도의 2배인 320m로 설정하는 좋을 것으로 판단한다.

또한 한계교각의 경우 우리나라는 미국과 동일한 5°를 적용하고 있으나, 미국의 경우 급한 곡선을 쓰는 경우가 거의 없으며, 산지와 구릉지가 많은 국내의 지형적 여건을 고려할 때 미국과 동일한 기준을 적용하는 것은 바람직하지 않다. <표 11>에서 볼 때 지형 및 사람의 신체조건이 우리와 비슷한 일본의 경우 7°를 적용하고 있고, 독일의 경우에도 6°20'을 적용하고 있으므로, 한계교각에 대한 연구도 필요한 것으로 판단한다.

<표 11> 평면곡선길이와 관련된 규정비교

구분	한국	미국	일본	독일
한계교각	5°	5°	7°	6°20'
설계속도 주행시간	4초	설계속도 의 3배	6초	2초
설계속도 100kph시 최소길이	110m	300m	170m	55m

자료 : 문병권 외(2006), 미래 교통환경을 위한 도로구조시설기준의 개선방안, 한국도로학회지 Vol.8 No.2

## 3. 최대 직선길이

설계속도 160kph의 고규격 고속도로는 평면 선형 제원이 좋아 편평하고 긴 구간의 완만한 도로로 구성한다. 이에 따라 전방에 주위를 환기시킬 목표물이 존재하지 않으면, 매우 단조로운 선형이 연속되어 운전자에게 피로를 유발시켜 주의력이 산만해지기 때문에 과속하기 쉽고, 차간거리의 오판으로 인해 사고를 유발할 수 있기 때다. “독일 RAS-L”은 동일경사의 직선길이는 최소 설계속도의 6배가 되어야 하고, 최대 설계속도의 20배 이내로 설계되어야 하며, 프랑스에서는 최대직선길이는 설계속도별로

2,000~3,000m이며, 도로전체의 40~60%로 제한하고 있다. 또한 스위스에서는 6초동안 설계속도로 주행한 거리이상 직선을 설치하되 1분 이상의 직선주행은 제한하고 있다.

우리나라의 경우 동일경사의 직선한계길이에 대한 명확한 규정은 없으나, 운전자의 심리적인 부담한계를 고려하는 것이 합리적으로 독일 RAS-L에서 권장하는 설계기준을 권장하였다.

한편, 정 등(2002)은 20~30대의 남자운전자들을 대상으로 운전작업부하를 고려한 최장허용직선길이는 직선도로 진입후 약 3.6km까지는 운전자의 각성수준이 통계적으로 유의한 수준으로 감소하지 않는다고 주장하였다.

고규격 고속도로에서 독일 기준 적용시 설계속도의 20배는 3.2km이고, 스위스 기준 적용시 1분 주행거리는 약 2.7km로 산정되었다. 두 기준 모두 정봉조등이 주장한 범위 이내이나, 주행속도가 높고, 선형이 단조로운 만큼 운전자 부하가 더욱 커질 것으로 예상되므로 가급적 직선길이는 최대 1분 이내로 설정하는 것이 타당할 것으로 판단한다. 그리고, 선형의 단조로움을 피하기 위해 가급적 자연의 지형을 따른 편평하고 굴곡이 있는 선형을 사용해야 할 것으로 판단한다.

#### 4. 정지시거

정지시거란 운전자가 주행중 도로 중심선을 따라 운전자의 눈높이에서 위험(일정기준의 장애물)을 식별할 수 있는 최소한의 거리를 의미한다. 세계적으로 볼때 100kph시 정지시거는 미국, 캐나다, 영국을 제외한 대부분의 국가들이 하면 155~185m의 범위를 나타내고 있으며, 이는 초기속도의 선택, 인지반응시간, 종방향마찰계수에 따라 다소 다르게 나타난다.

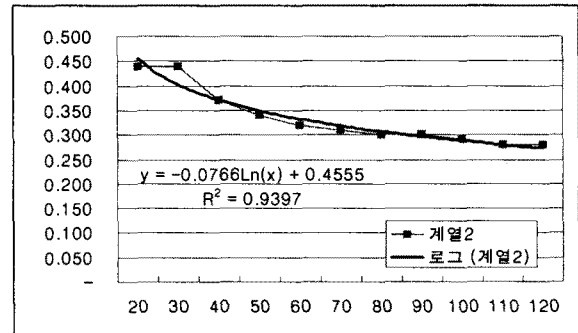
아래의 정지시거 결정공식에서 미국, 캐나다, 영국의 경우는 설계속도를 초기속도로 적용하였으며, 일본의 경우에는 이상기후시 감속을 고려하여 설계속도의 85%속도를 초기속도로 적용하고 있다.

$$D = 0.278v_0 t_{PR} + \frac{V_0^2}{254f}$$

“도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”(2000)에서는 설계속도를 적용하였으나, 2003년 규칙 개정을 통해 초기속도( $V_0$ )의 경우 습윤시 감속을 고려하여 설계속도의 85%속도를

적용하고 있고, 인지반응시간( $t_{PR}$ )은 2.5초를 적용하고 있으며, 마찰계수( $f$ )의 경우 설계속도별로 0.45~0.28을 적용하고 있다.

본 연구에서는 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙”에 제시된 종방향 마찰계수를 추세식으로 연장하여 160km/h에서 습윤시 종방향 마찰계수 0.25를 적용하였다. (한국도로공사는 습윤시 종방향 마찰계수를 0.3이상 확보되도록 포장관리를 시행중)



<그림 4> 종방향 미끄럼마찰계수 추정식

추정된 종방향 마찰계수 0.25를 이용하여 산출된 정지시거는 다음의 <표 12>와 같다. 이때 설계속도 160km/h를 100%적용하는 경우 최소 정지시거는 520m이며, 이상 기후시 85%로 감속될 경우 최소정지시거는 365m로 나타났다.

<표 12> 설계속도별 마찰계수와 정지시거

설계속도 (kph)	마찰계수	시거 (m)	이상기후시 85%주행속도	마찰계수	시거 (m)
80	0.30	139.5	68.0	0.31	105.9
100	0.29	205.2	85.0	0.30	153.8
120	0.28	285.8	102.0	0.29	212.0
140	0.26	395.1	119.0	0.28	281.7
160	0.25	517.3	136.0	0.27	364.1
180	0.24	659.8	153.0	0.26	460.6
200	0.23	823.6	170.0	0.25	573.1

#### 5. 최대 종단경사

도로는 같은 설계구간 내에서는 동일한 주행상태로 유지될 수 있도록 함이 바람직하나, 종단경사는 같은 설계속도 구간이라 하더라도 지형조건 및 자동차의 오르막성능에 따라 모든 자동차에게 동일한 주행상태를 유지시켜 줄 수 없는 요소를 포함하고 있다. 오르막경사에서는 중력의 영향에 의한 주행저항의 증가로 필요구동력이 부족해져 구동력과 주행저항의 균형이 잡힐때 까지 속도가 저하되기 때문이다.

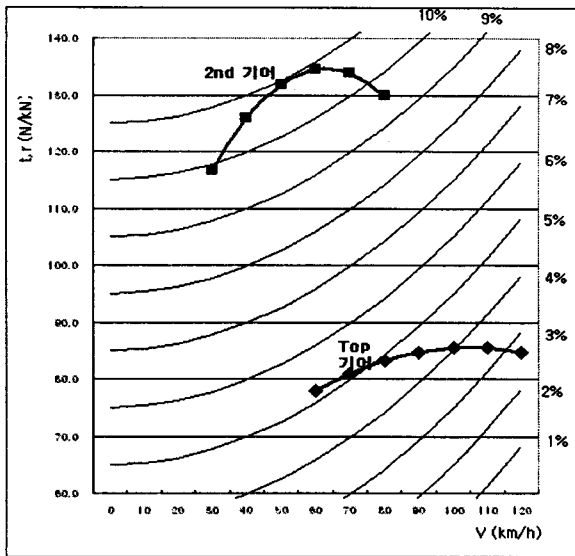
이에 따라 경제적인 제약 하에서 일정 범위



내에 속도저하를 허용하고, 일정범위를 벗어나는 경우 오르막차로를 설치하여 교통용량의 감소 및 안전성저하를 방지하도록 결정하고 있다.

본 연구에서 차량성능이 매우 떨어지는 화물자동차의 진입을 배제하였음에도, 소형버스등 상대적으로 저성능인 일부 차량은 통행이 가능하므로, 차량의 성능을 고려한 검토 및 이에 따른 종단경사 조정의 검토가 필요하다.

그러나 국내 승용차에 대한 주행성능곡선 자료가 없어 <그림 5>에서 보인 일본의 40ps/t 급 승용차 주행성능곡선을 적용하여 보면, 3%의 오르막경사에서 120km/h가 오르막한계속도이며, 4%의 오르막경사에서는 최대 105kph, 5%의 경사에서 최대 85kph의 오르막한계 속도에 도달한다.



<그림 5> 승용차 주행성능곡선표<sup>10)</sup>

한편, 국내승용차의 경우 승용차가 100ps/t, RV차량이 75ps/t, 스타렉스등이 50ps/t로 성능이 가장 안 좋은 소형버스를 고려하면 일본의 40ps/t급 적용은 타당성이 있다. 그러므로 자동차의 성능향상에 따라 다르지만, 종단경사는 최대 3%로 설정하는 것이 타당하다.

### 6. 종단곡선 변화비율

두 개의 다른 종단곡선을 주행하는 경우 차량의 운동량 변화에 따른 충격의 완화와 시거를 확보할 수 있도록 서로 다른 두 종단경사를 적절한 변화비율로 접속시켜야 하는데, 이때 종단곡선은 충분한 범위내에서 주행의 안전성과 쾌적성을 확보하고, 도로의 배수를 원활히 할 수 있도록 설치하여야 한다.

이를 위해 배수와 관련하여 종단곡선의 정점부에서 종단경사가 0.5%미만이 되지 않도록 설계시 유의해야 한다. 종단경사가 0.5%미만이 될 경우 배수불량으로 인한 물고임 또는 수막현상이 발생할 수 있다. ASSHTO에서도 0.5%의 종단경사는 확보해야 하며, 부득이한 경우 0.3%이상을 유지할 수 있도록 종단선형을 신중하게 설계해야 한다고 제시하고 있다.<sup>11)</sup>

Lamm은 도로의 최소종단경사는 노면의 충분한 배수제공을 위해 다음 식을 만족해야 한다고 주장하였다.

$$G \geq 0.5\% + \Delta S$$

여기에서  $\Delta S$  : 편경사 접속 설치율

이를 통해 볼 때 종단곡선의 정점부에서 종단경사가 최소한 0.5%이상 되도록 설계되어야 하는 것을 알 수 있다.

### 7. 정지시거결정을 위한 장애물 높이

정지시거의 정의를 보면, 운전자의 눈높이에서 위험(일정 기준의 장애물)을 식별할 수 있어야 하므로 볼록곡선에서는 승용차기준으로 운전자 눈높이와 장애물의 높이 규정이 중요하다.

<표 13>에서 보듯이 세계적으로 통일된 기준은 없으나, 운전자의 눈높이는 1.0~1.2m, 장애물의 높이는 0.10~0.60m를 적용하고 있다. 국내의 경우 스위스, 일본과 더불어 가장 엄격한 정지시거 규정을 가지고 있음을 알 수 있다.

<표 13> 각국의 정지시거 결정기준<sup>12)</sup>

국가	운전자의 눈높이(m)	대상물높이(m)
스위스, 한국	1.00	0.15
오스트리아	1.00	0.0~0.2*
프랑스	1.00	0.35
독일, 그리스	1.00	0.0~0.45*
남아프리카	1.05	0.15~0.60*
영국	1.05	0.26
캐나다	1.05	0.38
미국	1.08	0.60
이태리	1.10	0.15
스웨덴	1.10	0.20
호주	1.15	0.20
일본	1.20	0.10

주) \* : 설계속도별로 차등적용

운전자의 눈높이는 안전을 고려할 경우 1.0m이 타당한 것으로 판단되나, 장애물 높이에 관한 Kahl의 연구에서는 장애물 또는 동물과 연루된 사건이 전체 교통사고의 약 2%(0.15m이하

인 경우 0.07%)에 불과하며, 대부분 밤에 발생하고 심각한 상해를 입히지 않는다고 밝혔다. 국내 고속도로의 경우에도 2006년 발생한 교통사고 2,581건중, 동물관련사고 29건, 노면잡물관련사고 12건, 보행자관련사고 13건등 총 54건으로 총 사고건수의 2.1%에 불과하고, 이중 12건만이 주간에 발생한 사고이므로, 우리의 경우에도 고속도로에 대해서는 장애물의 높이를 높이는 것이 타당하다.

그러나, 앞에서 살펴본 바와 같이 배수를 위해서는  $Kr$ 이 200m/%( $G=0.5\%$ )이하여야 하므로, <표 14>에서 운전자의 눈높이가 1.0m인 경우 배수조건을 만족시키기 위한 장애물의 높이는 68cm이다. (운전자의 눈높이를 1.1m적용할 경우 배수조건을 만족하는 장애물의 높이는 60cm임.)

<표 14> 설계속도160kph에서 종단곡선변화비율

충격완화를 위한 $Kr$		71.1
전조등 야간투시거리에 의한 $Kr$		95.1
정지시거 확보를 위한 $Kr$	$h_2 = 0.15m$	344.4
	$h_2 = 0.30m$	276.7
	$h_2 = 0.45m$	237.4
	$h_2 = 0.60m$	210.4
	$h_2 = 0.68m$	199.1

주)  $h_1 = 1.00m$ , 시거는 설계속도의 85%속도 적용시 시거 365m를 적용시 결과임

이를 통해 볼 때 정지시거 결정을 위한 운전자의 눈높이와 장애물의 높이도 고규격 고속도로를 위해 중요한 연구분야로 판단한다.

## V. 맺음말

본 연구는 고규격고속도로의 도입을 전제로 도로공학적으로 고려되어야 하는 기하구조요소 및 그에 영향을 미치는 요소들을 일반사항, 횡단, 선형설계로 나누어 개략적으로 살펴본 것이다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

일반사항으로는 첫째, 기존 고속도로의 상위 개념으로서 고규격 고속도로의 기능 설정이 필요하며, 둘째, 설계속도( $V_D$ )설정을 위해 고규격 고속도로에 예상되는 주행속도( $V_{85}$ )의 예측, 셋째, 화물자동차의 통행제한을 제안하였으며, 마지막으로 운전자 시각특성을 고려한 선형설계가 필요함을 제시하였다.

횡단구성 측면 으로는 첫째, 시거를 고려한 중앙분리대와 길어깨 폭을 제안하였으며, 둘째, 클리어 존의 도입 필요성을 주장하였다.

선형설계 측면으로 첫째, 설계속도 160kph적

용시 최소곡선반경, 편경사와 횡방향마찰계수 배분, 최소곡선길이, 최대 직선길이, 최소정지시거 등에 대해 살펴보았으며, 둘째, 승용차의 주행 성능곡선을 이용하여 최대종단경사를 3%로 제안하였다. 마지막으로 배수등을 고려한 종단경사비율 및 이를 확보하기 위한 장애물 높이를 검토하였다

향후 고규격 고속도로의 기능에 부합하는 진출입 시설간 간격 및 형식, 연결로의 설계기준 등에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 고속으로 주행하는 차량의 최소한의 안전성 확보를 위한 분리대, 가드레일 등 교통안전시설에 대한 심도깊은 연구가 필요하다.

## 참고 문헌

1. 문병권 외(2006), 미래 교통환경을 위한 도로구조시설기준의 개선방안, 한국도로학회지 Vol.8 No.2
2. 강정규(2006), 초고속도로-미래 고속도로 서비스 혁신, 대한토목학회지 Vol.54 No.10
3. 강정규, 이기영(2006), 초고속도로 개발전략, 대한교통학회 제52회 학술발표회 논문집
4. 정준화, 박창호(2005), 주행속도분포특성을 이용한 설계기준 적용방안, 대한교통학회지 Vol.23 No.5
5. 정봉조 외(2002), 운전자 작업부하를 고려한 최장허용직선길이 결정에 관한 연구, 대한교통학회지 Vol.20 No.2
6. 한국도로공사(2006), 선형취약구간 개선 및 고속도로 기능증대를 위한 Master Plan 수립용역 종합보고서
7. 건설교통부(2000), 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침
8. 건설교통부(2000), 도로설계편람(II) 기하구조, 토공 및 배수, 포장
9. 한국도로공사(2000), 도로설계요령 제1권 도로계획 및 기하구조
10. (사)일본도로협회(2004), 도로구조령의 해설과 운용
11. AASHTO(2004), A Policy on Geometric Design of Highway and Streets 5th Edition
12. Ruediger Lamm외(1999), Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, Mc GRAW HILL
13. AUSTRROADS, Guide to the Geometric Design of Rural Roads
14. Ministry of Transportation of the British Columbia In Canada, Manual of Aesthetic Design Practice