

교량 및 터널구간 차로운영 설계기준

Design Standard for Lane Operation in Bridges and Tunnels

유호인* 오영태** 이철기*** 정우현****
(Ho-In You) (Young-Tae Oh) (Choul-Ki Lee) (Woohyun Chung)

요 약

본 논문에서는 산지가 전국토의 70%를 차지하는 우리 국토의 지형적인 여건과 환경 및 생태계 보존의 중요성으로 인해 도로건설시 구조물(교량 및 터널)의 설치가 증가하는 추세에 있는 최근의 실정에서 터널과 교량으로 연결된 구조물 연속구간에서 차로변경이 제한될 경우, 중차량 등 저속차량으로 인한 고속도로 본선의 소통능력 저하에 대처하기 위한 방안으로 구조물 구간의 차로변경을 허용할 것을 제안하였으며 차로변경 허용시의 필요조건으로 구조적 측면, 안전적 측면, 운전자 편의측면을 검토하여 적절한 차로변경 허용기준을 다음과 같이 제시하였다.

1. 우측길어깨가 2.5m 이상인 구조물(교량 또는 터널) 구간
2. 운전자의 원활한 차로변경을 유도할 수 있도록 도로안내표지, 전광표지판, 노면표지 등 충분한 교통안내시설이 설치된 곳
3. 결빙이 우려되는 지역에 설치된 교량의 경우 용설시스템을 구비한 곳
4. 터널의 경우 터널방재기준(2004.11) 및 터널조명기준(KSA 3703)을 만족하며 터널입·출구부에 결빙방지설비가 구비된 곳
5. 터널 구간 내 전조등을 점등한 차량에 한함

Abstract

Prohibition of lane changes in bridges and tunnels have been many problems in throughputs of expressways caused by heavy vehicles and slow-moving traffics. Nevertheless, those are constructed actively by the general trends, which are preservation of environment and ecosystem are more important, because mountainous districts are about 70% across the whole extent of Korea. In this paper, the proper design standards for permission of lane changes in bridges and tunnels classified into structure, safe, and driver's conveniences are suggested as follows.

1. Right shoulder should have more than 2.5m in bridges and tunnels.
2. Sufficient equipments of guidance like as directional signs, fingerposts, variable message signs, and markings should be established to smooth and safe lane changes of drivers.
3. Snow melting systems should be established in bridges worried about freezing.
4. Tunnels must be not only satisfied standards for prevention of disasters (2004.11) and lighting rules (KSA 3703), but also established anti-freezing facilities in entrance and exit.
5. The drivers should have turned on their car lights.

Key words : Design standard, lane operation, lane change, tunnel, bridge, traffic simulation

* 주저자 : 한국도로공사 설계처 과장

** 공저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수

*** 공저자 : 아주대학교 ITS대학원 교수

**** 공저자 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 박사과정

† 논문접수일 : 2007년 9월 19일

1. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

우리나라는 도로건설시 산지가 전국토의 70%를 차지하는 지형적인 여건으로 인해, 통행시간 및 비용절감 효과를 극대화하고 환경훼손을 최소화하기 위한 목적으로 구조물(교량 및 터널)의 설치가 증가하는 추세이다. 2005년 12월 현재 전국 도로연장 10.2만km중 터널(551km, 817개소) 및 교량(1,987km, 22,871개소)은 2,538km로 전체연장의 2.5%를 차지하고 있으며, 2000년 12월과 대비하여 도로연장의 증가(14.6%)에 비해 터널 및 교량이 크게 증가(54.8%)하고 있다. 이 중에서 특히 터널은 2000년 240km에서 2005년 551km로 약 2배 이상 증가하여 그 비중이 급격히 높아지고 있다 [1].

그러나 현재 구조물(교량, 터널) 구간은 교통안전 확보차원에서 도로교통법상 차로변경을 제한(백색실선)하고 있으며, 특히 산악지의 구조물 연속구간에서는 주행속도의 저하가 발생하여 지체 및 용량 감소로 인해 도로시설 규모 확장을 필요로 하기도 한다. 또한 실제 운전자의 운행실태와의 차이로 인해 과중한 규제가 되고 있다.

또한 최근 도로 설계 시에 운전자의 안전을 고려하여 고속도로의 구조물 연속구간은 평면($R=2,000$ 이상) 및 종단선형($S=2\%$ 이하)이 양호하며, 구조물(교량, 터널)의 설계기준은 과거에 비해 상향 조정되어 교량은 중앙분리대, 난간 방호울타리의 높이(0.81m→1.00~1.27m) 및 강성(S_2, S_3)이 증대되었으며, 터널은 측방여유폭 개선(1m→2.5m), 터널방재기준 강화로 제연시설은 교통량 과다 등 위험도가 높을 경우 500m이상의 터널에도 설치하고 있고 피난 연락통로는 1,000m 이상 터널에 차량용 피난연락갱은 750m간격으로 설치하고 차량용 사이에 250m 간격으로 대안용 피난연락갱을 설치하여 운전자 주행 쾌적성 및 안전을 고려하고 있는 등 [2, 3] 과거에 비해 구조적인 측면의 안전성은 향상되고 있다.

따라서, 최근 춘천~양양간 고속도로 건설공사 등 산악지에 건설되는 고속도로는 지형여건상 구조물

(교량 및 터널) 연속구간의 연장도 증가, 약 5~10km 까지 연속되어 현행 구조물구간에서의 차로변경 제한(백색실선) 규정은 도로의 건설여건 변화(연속 구조물구간)에 따른 적절한 대처가 어려운 실정에 있다. 즉 현행법상 구조물(교량, 터널)에서는 안전상의 이유로 차로변경이 금지(백색실선)되어 있으나, 장대터널과 교량으로 연결된 구조물 연속구간이 지속되어 차로변경이 제한될 경우, 중차량 등 저속차량으로 인한 고속도로 본선의 소통능력 저하가 나타날 것으로 예상된다.

본 논문은 이와 같이 구조물(교량, 터널) 연속구간에서의 차로변경을 금지(백색실선)하는 현행 규정을 준수할 경우 예상되는 도로용량저하 현상을 규명하고 차로변경 허용의 지체감소효과를 분석하여 효과적인 차로변경 허용구간을 설정하는 것에 그 목적이 있다.

2. 연구 내용 및 범위

본 논문에서는 차로변경을 허용할 경우의 필요 조건들을 고찰하는 것에 큰 비중이 있다. 구조물 구간에서 차로변경을 전면적, 무조건적으로 허용하는 것이 아니라 적절한 안전기준을 설정하고 그에 부합되는 구조물에 한하여 적용하기 위함이다.

이와 같은 차로운영 기준이 마련된 후에는 시뮬레이션을 통하여 차로변경 허용의 효과를 분석한다. 이를 위해 현재 계획중인 고속도로 노선 중 산악지에 건설되어 구조물 비중이 높은 춘천~양양간 고속도로의 내촌IC에서 인제IC까지의 9.1km중 구조물 연속구간인 7.3km구간을 대상으로 차로변경 허용여부를 시뮬레이션을 통해 대안별로 분석하였다.

춘천~양양간 고속도로는 대부분 산악지형을 통과하는 도로로서 많은 구조물(교량, 터널)이 복합적으로 연결된 연속 차로변경 금지구간이 존재하는 지역으로 시뮬레이션을 통해 차로변경금지에 따른 도로용량분석을 실시하기에 적합한 곳으로 판단된다.

본 논문에서 다루게 될 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

첫째, 연속 차로변경 금지구간에서의 지체 해소

및 소통능력향상을 위한 차로변경 허용안을 제시하
되 필요조건으로서의 안전기준을 함께 마련한다.

둘째, 시뮬레이션을 이용하여 구조물(교량, 터널)
이 복합적으로 존재하는 연속 차로변경 금지구간의
지체발생상황을 예측하고 이 지체를 해소하기 위한
방법으로 차로변경을 허용할 경우, 대안별로 지체
감소효과를 분석하여 차로운영대안의 효과를 검증
한다.

II. 관련 기준 및 선행 연구

1. 구조물 내 차로변경 관련 기준

도로교통법에 제22조의3(앞지르기 금지의 시기
및 장소)에서는 구조물(교량, 터널) 내부를 앞지르
기 금지구간으로 설정하고 있으나, 차로변경과 관
련된 법조문은 없다. 다만 ‘교통노면표시 설치·관
리 매뉴얼(경찰청, 2005년)’에서 원칙적으로 차로변
경을 금지하는 백색실선을 설치토록 규정하고 있으
며, 차로변경이 필요시 공학적인 판단에 의해 차로
변경(백색점선)이 가능한 것으로 되어 있다. 또한
한국도로공사의 최근 설계방침인 ‘교량 및 터널구
간 노면표시 설치기준’(2005)에 따르면 교량과 터널
에서는 원칙적으로 차로변경을 금지하는 백색실선
을 적용하되 원활한 교통류의 흐름을 유도하기 위
해 일부 교량, 터널구간에서 차로변경을 허용하고
있다 [4].

이렇듯 국내법에서는 안전상의 문제를 이유로
구조물 내 차로변경을 금지하도록 하고 있으나 미
국(일부 금지), 일본, 노르웨이 등의 경우 구조물 내
차로변경을 원칙적으로 허용하고 있다.

2. 구조물 내 차로운영 관련 선행 연구

1) 국내 연구

일반적으로 구조물과 관련된 대부분의 기존 연
구는 고속도로 터널구간에 대한 용량산정에 관한
것으로써, 터널부가 전체 고속도로 구간의 병목으
로 작용하여 일반 구간에 비해 용량감소가 일어나
는 것으로 제시되고 있다.

<표 1> 국내외 차로변경 관련기준 [4-7]

<Table 1> Standards about lane change at home and foreign

구분	관 련 규 정
도로교통법	제22조의3(앞지르기 금지의 시기 및 장 소) 모든 차의 운전자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 곳에서는 다른 차를 앞 지르지 못한다 1. 교차로, 2. 터널안, 3. 다리위 4. 도로의 구부러진 곳, 비탈길의 고개마 루 부근 또는 가파른 비탈길의 내리막 등 지방경찰청장이 도로에서의 위험을 방지하고 교통의 안전과 원활한 소통을 확보하기 위하여 필요하다고 인정하는 곳으로서 안전표지에 의하여 지정한 곳
국 내 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼 (경찰청, 2005)	제2절 4. 차선(602) [해설] 단, 교량, 곡선구간, 오르막길의 정상부분, 터널 내, 교차로의 정지선 부 근이나 자동차의 유출·입 구간 등에서 는 안전과 소통을 위해 진로변경을 제한 하는 차선을 설치한다. 도로교통법에서 규정한 신호의 시기 및 방법에 의하면 동일방향으로 진행하면서 진로를 변경하 고자 할 경우에는 교차로 이전 30m 이상 의 지점에서 신호를 해야 된다고 명시되 어 있다. 따라서 진로변경제한선의 최소 길이는 30m 이상으로 할 것을 권장한다. 진로변경이 필요하다고 인정되는 곳은 공학적 판단에 따른다.
한국도로공사 설계방침 (한국도로공 사, 2005)	교량 및 터널구간 노면표시 설치기준 [교량] -백색실선을 원칙으로 설치하여 진로변 경과 앞지르기 금지 -단, 일부 교량에 대해서는 교통류의 원 활한 흐름을 유도하기 위해 좌·우 진로 변경이 가능한 백색점선을 설치(앞지르 기 금지 : 표지판) [터널] -터널입구 100m와 터널내부는 백색실선 으로 설치 -단 터널출구와 IC, JC등 출입시설과의 이격거리가 부족한 경우 현재의 ‘터널과 출입시설간 이격거리 기준 보완방안’을 적용하여 노면표지 및 안전시설 보완
국 외 MUTCD (USDOT, FHWA, 2003)	3B-2 2. 일반적인 흰색 실선은 차로변경을 제 한할 수 있는 특별한 장소의 차선에 사 용될 수 있다. 대표적인 사례로 차로변 경이 교통류의 혼잡을 초래하는 폭이 협 소한 터널이나 교량을 들 수 있다. 2중 의 흰색 실선은 차로변경을 금지하는 경 우 사용된다.
도로설계요령 (일본도로공 단, 2005)	터널내 차로변경 허용 터널과 인터체인지간 이격거리에 대한 규정 없음

최준(1992)은 중부1터널 및 3터널에 대한 용량분석을 통해, 터널 진입부에서 용량이 15% 감소하고, 차두간격은 일반 구간에 비해 1.1~1.3배 큰 것을 분석하였으며[8], 유경수(1995)등은 중부1터널외 14개소에 대한 분석을 통해 교통량 1,150pcphpl을 기준으로 속도는 종단구배 1% 증가시 9.13km/h, 터널길이 100m 증가시 1.78km/h가 감소하며, 교통량 1,550pcphpl을 기준으로 속도는 종단구배 1% 증가시 9.87km/h, 터널길이 100m 증가시 1.70km/h가 감소하는 것을 밝혀내었고[9], 장현봉(1998) 등은 동해 2터널의 경우 용량이 1,500대/시으로써 도로용량편람의 기준보다 약 6%가 감소되고, 대전터널의 경우 용량이 2,000대/시으로써 고속도로 기본구간 용량보다 약 10%가 감소되는 것을 제시하였다 [10].

특히 이재호(2000)는 국도6호선상의 연속터널인 팔당~봉안 터널과 3개소의 독립터널 분석을 통해 연속터널의 경우 용량이 5.5% 감소되고, 독립터널의 경우 4.2% 정도 감소되는 것을 제시하였다 [11].

2) 국외 연구

Levinson(1985)등은 미국 Callahan 터널구간에 대해 교통관리를 하기 전과 후의 터널 용량변화를 관찰하였으며, 이를 통해 교통관리전에는 터널 용량이 1,600~1,650대/시를 보였으나 터널유입부의 도류화, 요금징수소 제거, 터널출구의 개선 등을 통해 차로당 200대/시가 증가하였음을 밝혔다 [12].

일본의 Masaki(1992)는 고보토케, 오츠키, 니혼자카의 편도 2차로 터널부에서 실측을 통한 용량을 산출하였으며, 조사구간들의 터널길이는 최소 200m에서 최대 500m로 구간길이에서 구배가 3.2%이하의 평지부인 경우, 2차로당 2,200대/시에서 3,000대/시까지로 나타나 도로조건에 따라 상이한 결과치를 갖는다는 것을 밝혀내었다. 또한 동주자터널과 소불터널에서 수행한 임시가벽을 이용한 터널조건폭을 조정한 연구를 통해, 주행방향의 속도변화는 주야간, 차로에 따라 약간 차이가 있으나 터널입부 구간에서는 공통적으로 속도저하현상이 나타나는 것으로 분석하였다 [13].

노르웨이의 Finn 등은 터널부에서 발생한 교통사고에 대한 분석을 통해 터널부의 경우 전체적인 도로 구간에 비해 사고율이 오히려 낮은 것을 제시하였으며, 터널부 사고의 지점별 유형으로 터널 진입부 혹은 내부의 곡선구간이 터널부 사고발생의 주요한 원인이며, 터널 내부의 조명시설이 안전에 영향을 미치나, 터널부의 횡단구성 및 폭원은 큰 영향이 없는 것을 언급하였다 [14].

이 밖에 싱가포르의 Weng 등은 속도-교통량 관계를 통해 고속도로 기본구간의 도로용량은 3,000 pcphpl, 터널에서는 2,600pcphpl, 그리고 신호교차로에서는 1,600~2,500pcphpl을 제안한 바 있다 [15].

III. 문제의 제기

1. 고속도로 교통사고 현황

2005년 현재 우리 고속도로의 총 연장은 2,850km로서 이중 교량과 터널이 차지하는 비중은 33.1%에 달한다. 이는 2003년의 29.4%에 비해 증가하였으며 현재에도 계속 증가하고 있는 추세이다 [1].

이처럼 고속도로의 구조물 연장은 전체구간의 약 30%를 상회하고 있으나 고속도로 구간 내 시설별 교통사고 건수를 살펴보면 2005년 기준 전체 2,880건 중 구조물 내의 교통사고는 114건으로 4.0%에 불과하여 본선구간의 연장대비 사고건수보다 현저히 낮은 비율을 보이고 있다.

<표 2> 국내 고속도로 시설별 연장
<Table 2> The length of expressway by categories

구분	전체		교량		터널		기타
	연장(km)	구성(%)	연장(km)	구성(%)	연장(km)	구성(%)	구성(%)
2003	2,660	100	599.1	22.5	182.9	6.9	70.6
2004	2,805	100	670.0	23.9	238.3	8.5	67.6
2005	2,850	100	687.6	24.1	255.3	9.0	66.9

2. 교량 및 터널 차로운영 실태

앞서 살펴본 바와 같이 현재 교량 및 터널 내의 차로변경은 원칙적으로 금지되고 있으나 교량구간의 경우 시·종점부에 유출입시설이 설치된 곳이 많아 차로변경을 허용하고 있는 곳이 상당수 존재하고 있다. 대표적으로 김포대교, 한남대교, 동작대교 등 대부분의 한강교량과 서해대교, 영종대교, 광안대교 등 해상장대교량에서도 백색점선의 차로구분으로 차로변경을 허용하고 있다. 이 교량들은 대부분 장대교량으로서 토공구간에 필적하는 단면설계를 갖고 있는 교량들이다.

터널의 경우 현재 차로변경을 허용하고 있는 터널은 국내에 없다. 그러나 본 연구를 위해 중부내륙고속도로의 장대터널인 장연터널(연장 3,100m)의 CCTV 녹화자료를 검토한 결과 피산방향 출구부분에서 1시간 동안 통과교통량 802대의 5%에 달하는 42대가 터널 내부에서 차로를 변경하였다. 운전자의 차로변경 행태가 모든 터널구간 (입구부, 출구부, 일반부 등)에서 균일하다고 가정하고 CCTV의 가시거리를 약 800m 이내라고 할 때 총 터널이용차량의 20%에 달하는 횡수의 차로변경 행위가 이루어진다고 볼 수 있다. 터널 내의 차선이 백색실선으로 표시되어 있기 때문에 현행법상 이는 도로교통법 위반이다. 그럼에도 불구하고 20%에 달하는 위반율은 이미 터널 내의 차로변경 금지 규정이 유명무실화되고 있다는 것을 반증한다고 볼 수 있다.

즉 교통안전 측면만을 강조하고 있는 현행 규정은 현실과는 맞지 않는 측면이 있으며 보다 구체적인 검토가 필요하다.

3. 국내 기준의 문제점

1) 진로변경 관련 용어의 모호성

앞서 관련 용어를 살펴본 것과 같이, 교통공학적 측면으로나 관련 기준상으로도 앞지르기와 진로변경은 서로 다른 개념이다. 즉, 진로변경(좌측 또는 우측)과 앞지르기는 별개의 사항으로 좌측으로 진로변경을 한다 해도 모두가 앞지르기로 볼 수 없다.

예를 들어, 편도 2차로 이상 고속도로의 교량구

간은 앞지르기는 금지되나, 진로변경은 허용되므로 상위차로로 진행중인 차 또는 앞지르기를 하기 위해 앞지르기차로로 주행중인 차가 하위차로로 진로변경 하거나 상위차로로 진행할 수 있는 차가 현저히 느린 속도로 하위차로로 운행하다가 본래의 속도로 운행하기 위해 상위차로로 진로를 변경하는 경우 등이다.

즉, 편도2차로 이상의 도로에서 동일방향 교통류의 앞지르기를 금지하는 노면표지는 없으며, 백색실선은 앞지르기를 금지하는 것이 아니라 진로변경을 제한하여 자연적으로 앞지르기가 불가하게 된다.

또한, 앞지르기 금지구간이라 하더라도 진로변경을 제한할 필요성이 다소 떨어지는 구간(편도 2차로 이상의 고속도로상의 교량등)이 있는 반면, 사고위험성 등으로 진로변경까지도 금지한 구간(일반도로상의 지하차도 등)도 있게 되며 이러한 상호규정이 모순된다고 볼 수 없다. 교통안전표지중 앞지르기 금지 의미인 213번 표지와 차로변경 가능지역임을 알려주기 위해 설치되는 백색점선은 서로 상반되는 의미의 시설물이 아니라는 것이 경찰청의 의견이다.

2) 도로교통법의 공학적 판단

도로교통법 제22조의3항에서 ‘터널안 또는 다리위’는 앞지르기 금지장소로만 규정되어, ‘터널안 또는 다리위’라 하여 당연히 진로변경이 금지되는 것은 아니며, ‘교통노면표시 설치·관리 매뉴얼’에서 교통류의 안전과 원활한 소통을 위해 교량과 터널안에서의 진로변경은 제한하되, 공학적 판단에 따라 필요하다고 인정되는 곳에 한하여 진로변경을 허용토록 규정하고 있다.

터널은 조도, 가시거리 등이 일반구간에 비해 상대적으로 열악하여 터널에서 차로변경을 허용할 경우 이로 인한 교통사고 및 2차 추돌사고 등 사고대형화가 우려되므로, 원칙적으로 터널내 진로변경을 금지하는 현행 기준을 유지하되, 공학적 판단으로 차로변경이 필요하다고 판단되는 곳에서는 차로변경을 허용할 필요가 있다.

즉, 2003년에 터널출구와 출입시설간 거리가 짧

아 진출에 문제가 있는 지점에 대해서는 터널 진입 전에 안내표지를 설치하여 진출차량이 하위차로를 이용토록 하고, 1km 이상의 장대터널인 경우 터널 내 선형(평면, 종단), 시거, 조명, 길어깨폭 등을 고려하여 안전에 문제가 없는 구간에 한해 진로변경을 허용하되, 터널내 전광안내판 및 노면표지(방향표지) 등 충분한 교통안전시설을 보강 설치하는 기준이 마련되었다 [16].

따라서, 산악지가 많은 국내 도로건설여건상 구조물(교량, 터널) 연속구간은 향후에도 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 이러한 구간에서 차로변경 제한(백색실선)은 필연적으로 증차량으로 인한 도로 본선의 소통능력 저하를 가져오게 될 것이므로 구조물 연속구간에서의 차로변경 허용구간(백색점선)의 설정이 필요하다.

IV. 적정기준의 제시

1. 개선 방향

이미 검토된 바와 같이 현재 교량의 경우 교량 시종점부에서 다른 도로와 교차하는 등 유출입시설이 결합된 곳이 다수이며 이 경우 당연히 구조물 구간 내에서 차로변경을 허용해야 한다. 그러나 터널의 경우는 이처럼 터널 내부 또는 시종점부에 유출입시설이 직결되는 예가 거의 없다. 왜냐하면 안전을 이유로 터널은 무조건적으로 차로변경을 제한한 후 적정시설간격(차로변경을 위한) 유출입시설의 위치를 결정하는 프로세스가 일반적이기 때문이다.

이처럼 법기준은 동일함에도 불구하고 교량과 터널의 차로운영 실태가 다른 가장 큰 이유는 터널 진출입시 운전자가 겪게 되는 심리적인 위축감과 명순응, 암순응 등의 시각적 현상 등 주로 안전측면의 이유들이 가장 크다.

따라서 이와 같이 터널과 교량 등 구조물 구간에서 차로변경을 허용할 경우 반드시 만족해야 하는 필요조건들을 구조적인 측면, 안전적인 측면, 운전자 편의측면으로 나누어 검토하였다. 즉 가장 기본적으로는 구조물 구간이 토공구간(일반적으로 차로

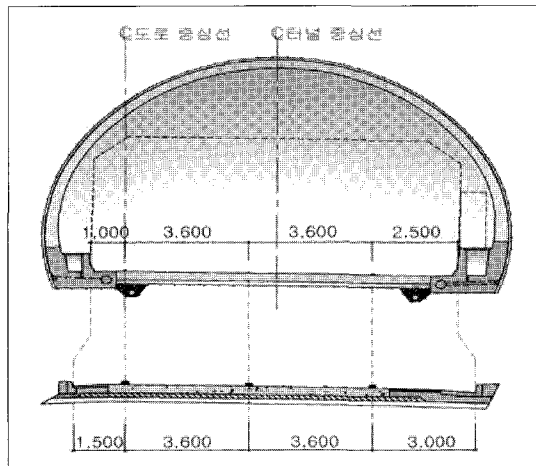
변경이 허용되는)과의 단면구조가 동일해야 하며 안정적인 보완장치(방재시설 등)가 마련되어 있어야 하며, 운전자가 구조물 내에서 차로변경 행위를 결정할 때 혼란을 겪지 않기 위한 안내장치(도로표지 등)가 마련되어야 한다는 것이다.

2. 적정 기준

1) 구조적 기준

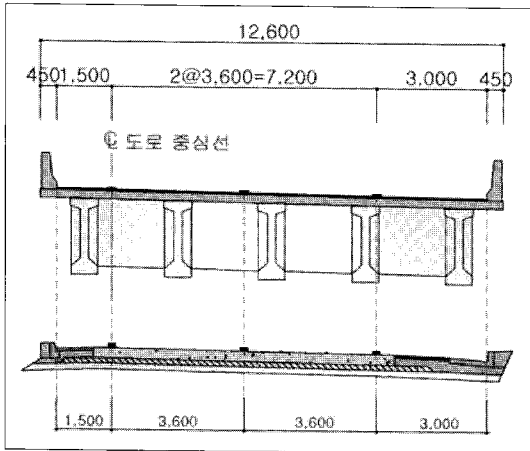
최근 건설되는 고속도로는 운전자의 안전 등을 고려하여 설계시에 구조물 연속구간은 평면(R=2,000이상) 및 종단선형(S=2%이하)이 양호하며, 구조물(교량, 터널)의 설계기준은 과거에 비해 상당히 조정되어 교량은 중앙분리대, 난간 방호울타리의 높이(0.81m→1.00~1.27m) 및 강성(S2, S3)이 증대되었으며, 터널은 측방여유폭 개선(1m→2.5m)으로 본선구간의 횡단폭원과 비교할 때 좌우 길어깨의 폭원이 본선구간에 비해 50cm의 차이가 있을 뿐 거의 동일한 횡단구성을 이루어 터널통과로 인한 운전자의 주행 안정성 저하가 거의 없다.

이러한 구조기준 중 본선과 차이를 갖고 있는 터널구간의 측방여유폭 기준은 1996년 이후에 설계·



<그림 1> 고속도로 터널구간과 본선구간 단면비교

<Fig. 1> Comparison of cross sections between a tunnel and the main track



<그림 2> 고속도로 교량구간과 본선구간 단면비교
 <Fig. 2> Comparison of cross sections between a bridge and the main track

시공된 터널구간에 적용되어 오고 있는 기준으로서 그 이전에 설치된 터널의 측방여유폭 기준은 1.75~1.8m였다. 그러나 토공부와와의 연속성 및 주행성의 결여, 터널 진입시 갑작스런 측방여유폭 감소로 운전자의 심리 위축으로 인한 용량 저하 및 교통사고 발생, 터널 내 작업시 작업공간 협소로 인한 교통지정체 발생, 자연환기 불리, 비상시 대피차로 활용의 어려움 등의 이유로 2.5m로 개선된 바 있다.

터널 구간의 측방여유폭이 4.25m일 때 본선구간 대비 주행속도와 용량의 감소율은 5% 정도이며, 2.5m일 때에는 약 6%로 둘 사이에 큰 차이가 없기 때문에 본선구간보다 다소 좁은 기준이긴 하나 경제성 측면을 고려하였을 때 도로용량상 그 이상의 확폭은 큰 의미가 없는 것으로 사료된다.

또한 이 기준은 관계법령인 “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙”에서 제시하고 있는 고속도로의 설계기준차동차인 세미트레일러의 기준 차폭이 2.5m이기 때문에 이 규모의 차량이 길어깨구간에 정차를 할 경우에도 본선구간의 차로잠식 등 도로용량제약이 없는 기준으로 사료된다. 따라서 본 논문에서는 차로변경이 가능한 구조물의 제한조건으로 고속도로의 터널구간 설계기준으로서 적용되고 있는 우측 길어깨폭 2.5m를 확보할 수 있는 구조물로 제안하였다.

2) 안전 기준 (방재)

강화된 터널방재기준[2]에 따르면 터널제연시설은 교통량 과다 등 위험도가 높을 경우 500m이상의 터널에도 설치하고 있으며, 피난 연락통로는 1,000m 이상 터널에 차량용 피난연락경은 750m간격으로 설치하고 차량용 사이에 250m 간격으로 대안용 피난연락경을 설치하여 운전자 주행쾌적성 및 안전을 고려하고 있다. 또한 터널내 기본부(입출구부를 제외한 구간) 조명의 경우 본선구간 연속조명의 평균노면휘도인 2.0cd/m²에 비해 4.5배 밝은 9.0cd/m²로 설치되어 충분한 조도가 확보되어 있어 본선구간에 비해 터널내 사고율이 오히려 낮다.

3) 안전 기준 (조명)

터널 내 구간의 안전시설 중에 또 다른 중요한 것이 조명시설이다. 조명시설은 터널구간을 기본부와 입구부, 출구부로 나누어 그 간격과 노면휘도를 다르게 적용하도록 하고 있다. 각 구간별 적용치는 설계속도와 주/야간, 야외휘도 등에 따라 달라지며 상세한 값은 국가표준을 따른다. 다만 설계속도별로 각 구간의 거리는 달라지게 되며 그 내용은 <표 3>과 같다 [3].

터널 내부의 차로변경 허용시에는 이 터널조명 기준을 만족해야 하며 운전자가 터널 내부에서 차로변경 행위를 할 경우 후속차량이 차로변경행위를 명확히 인지할 수 있도록 터널진입시에 전조등을 반드시 점등토록 하는 것도 안전상 중요하다. 따라서 현재 터널 입구부에 “전조등 점등” 표지가 설치

<표 3> 설계속도별 터널 내 조명시설 설치 기준 간격

<Table 3> Standard intervals of each lighting equipment in tunnels by design speed

설계속도 (km/h)	경계부 (m)	이행부 (m)	완화부 (m)	기본부 (m)	출구부 (m)
100	60	120	200	-	70
120	70	144	240	-	70

되어 있다 하더라도 전조등을 점등하지 않은 차량은 차로변경 허용대상에서 제외하는 것이 바람직하다.

4) 안전 기준 (결빙)

교량구간에서 안전상 취약점은 결빙이다. 따라서 교량구간의 경우 결빙이 우려되는 지역에 설치되는 교량에 대해서 겨울철 강설로 인한 결빙구간에서 차로변경 행위에 기인한 미끄럼사고 등을 방지하기 위해 융설시스템이 마련된 곳에 한해 적용하는 것이 바람직하다.

또한 터널의 경우 터널의 입·출구부는 응달이 많고 터널풍의 영향으로 노면결빙이 잦으므로 적절한 도로결빙 방지설비(제빙액 분사설비, 발열콘크리트 포설설비, 캐노피 설치방법 등)가 갖추어져야 할 것이다.

5) 운전자 편의기준

구조물 구간의 차로변경을 허용할 경우에는 구조물과 진출입시설간의 이격거리를 상당부분 줄일 수 있다. 그러나 진출입 지점이 인접한 경우 구조물 내에서 진로변경을 유도하기 위해서는 적절한 위치에 전광판 및 노면표지, 노측의 안내표지 등을 보강해야 할 것이다.

3. 차로운영 적정 기준 종합

제시한 구조적 기준, 안전 기준, 운전자 편의기준 등을 종합하면 다음과 같다.

교량구간의 경우, 우측길어깨폭 2.5m 이상의 교량에 한해 차로변경을 허용하되 교량내 원활한 차로변경을 유도할 수 있도록 전광안내판 및 노면표지 등 충분한 교통안내시설을 보강 설치한다. 특히 결빙이 우려되는 지역에 설치된 교량구간의 경우 융설시스템 설치한다.

터널구간의 경우, 우측길어깨폭이 2.5m 이상이고 터널방재기준[2] 및 터널조명기준(KSA 3703)[17]을 만족하는 터널에 한해 차로변경을 허용하되 원활한 차로변경을 유도할 수 있도록 전광안내판 및 노면표지 등 충분한 교통안내시설을 보강설치하고 터널

입·출구부의 경우 겨울철 도로결빙 방지설비 설치한다. 단 터널 내에서 전조등을 점등한 차량에 한하여 차로변경을 허용한다.

이상을 종합할 때 관련 규정, 즉 도로교통법 및 교통안전실무편람 중 차로변경 관련 항목은 <표 4>와 같이 개정되는 것이 적절하다.

<표 4> 도로교통법 및 교통안전시설실무편람 개정안

<Table 4> Revised bills of the standard about lane operation

구분	관 련 규 정
도로교통법	제22조의3(앞지르기 금지의 시기 및 장소) 모든 차의 운전자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 곳에서는 다른 차를 앞지르지 못한다 1. 교차로, 2. 터널안, 3. 다리위 4. 도로의 구부러진 곳, 비탈길의 고개마루 부근 또는 가파른 비탈길의 내리막 등 지방경찰청장이 도로에서의 위험을 방지하고 교통의 안전과 원활한 소통을 확보하기 위하여 필요하다고 인정하는 곳으로서 안전표지에 의하여 지정한 곳 (단, 교량, 터널중 우측길어깨 2.5m 이상이고 적절한 안전기준이 적용된 구조물 제외)
교통노면표지 설치관리지침	3-2-4 차선(602) [해설] 단, 교량, 곡선구간, 오르막길의 정상부분, 터널내 등에서는 안전과 소통을 위해 진로변경을 제한하는 차선을 설치하며, 진로변경이 필요하다고 인정되는 곳 중 다음의 기준을 만족하는 경우 진로변경을 허용한다. 1. 우측길어깨가 2.5m 이상인 곳 2. 운전자의 원활한 차로변경을 유도할 수 있도록 도로안내표지, 전광표지판, 노면표지 등 충분한 교통안내시설이 설치된 곳 3. 결빙이 우려되는 지역의 교량의 경우 융설시스템을 구비한 곳 4. 터널의 경우 터널방재기준(2004.11) 및 터널조명기준(KSA 3703)을 만족하며 터널입출구부에 결빙방지설비가 구비된 곳 5. 터널 구간내 전조등을 점등한 차량에 한함

V. 효과 분석

제시한 차로운영 대안의 효과분석은 교통시물레이션을 통해 이루어졌다. 즉 구조물 구간에서 현행대로 차로변경을 제한할 경우와 허용할 경우의 대안을 각각 시물레이션 하였으며 입력교통량과 중차량 비율을 달리하여 시나리오를 작성하였다.

1. 시물레이션 개요

제시한 차로운영 대안의 효과분석은 다음과 같은 단계로 진행되었다.

우선, 차로변경을 금지하는 것과 허용하는 것이 고속도로 본선의 속도저하에 어떻게 영향을 미칠 것인가를 분석하기 위해, 차로변경에 따른 영향을 구체적으로 묘사할 수 있는 시물레이터를 선정하였다.

두 번째 단계는 적절한 대상구간을 선정하는 것으로 본 연구의 목적에 맞게 장대터널과 교량이 복합적으로 설치되어 건설되고 있는 구간을 선정하였다.

세 번째 단계는 시물레이션을 위한 시나리오를 결정하는 단계로, 차로변경을 금지하는 것과 허용하는 대안 각각에 대해 교통량의 변화와 중차량 비율의 변화에 따른 시나리오를 작성하였다.

네 번째 단계는 시물레이션을 수행하는 단계로, 분석 대상구간을 최대한 사실적으로 묘사하기 위해 노력하였으며, 적절한 시물레이션의 기본 사항 등을 가정하여, 시나리오별로 시물레이션을 수행하였다.

2. 시물레이터 및 대상구간 선정

1) 시물레이터 선정

국내·외에서 널리 사용되고 있는 교통 시물레이터에는 TSIS, Paramics, VISSIM, TRANSIMS 등이 있으며 본 연구에서는 이 중 사용법이 간단하면서 다양한 효과척도들을 도출해 줄 수 있는 프로그램인 VISSIM 4.20버전을 이용하였다.

2) 분석 구간 선정

본 연구에서 분석대상이 되는 구간은 구조물 구간의 연장이 길고(장대터널 혹은 장대교량) 복합적으로 혼재되어 있으며 구조물 통과 후 출입지점이 있어 자연스럽게 차로변경이 이루어질 수 있는 구간으로서 현재 설계 중에 있는 춘천~양양 고속도로의 내촌IC에서 인제IC 구간 중 일부 구간이다.

이 분석구간의 총 연장은 9.1km로서 그 중 구조물이 복합적으로 연결되어 있는 구간, 즉 현행법상 차로변경이 불가능한 구간은 7.3km에 달한다. 현행 설계 상 5개의 터널과 5개의 교량으로 구성되어 있다.

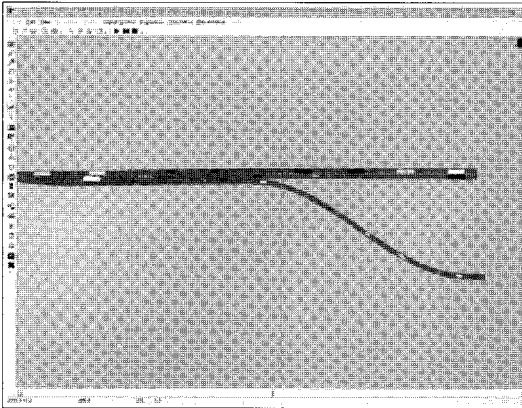
3. 분석 시나리오

분석 대상구간은 춘천~양양 고속도로의 내촌IC에서 인제IC까지 7.3km의 2011년 본선 및 유출교통량을 기준으로 하여 V/C 즉, 교통량의 변화와 중차량 비율의 변화에 따른 분석을 수행하고자 한다. 여기서 차로수에 따른 영향(시나리오)은 고려하지 않았는데 이는 3차로 이상의 고속도로 특성상 1차로에서 최우측 차로의 중차량 영향이 크지 않을 것으로 판단되기 때문이다.

- 교통량 변화: 서비스수준 A~F
- 차로변경 유무: 차로변경 전면금지 vs. 차로변경 전면허용
- 중차량 비율 변화: 35%(기본), 50%

<표 5> 시물레이션 세부 시나리오
<Table 5> Analysis scenarios for traffic simulation

입력 교통량 (대/시)	차종	중차량 비율				인제IC 유출 교통량	
		35%		50%			
		승용차 (대/시)	중차량 (대/시)	승용차 (대/시)	중차량 (대/시)		
LO S	A	761	495	266	381	380	84
	B	1,521	989	988	761	760	168
	C	2,282	1,483	799	1,141	1,141	252
	D	3,042	1,978	1,064	1,521	1,521	335
	E	3,802	2,471	1,331	1,901	1,901	419
	F	4,562	2,966	1,596	2,281	2,281	502



<그림 3> 시뮬레이션 수행 화면
 <Fig. 3> Screen caption of VISSIM simulation

4. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 수행시간은 각 시나리오에 대해 3600 초(1시간)씩 수행되었으며, 차종구성은 승용차 (Auto)와 중차량(Heavy)으로 구성되었다. 각 차종별 희망속도(Desired Speed)의 범위는 아래와 같이 설정하였다.

- Autos : 100km/h (88km/h ~ 130km/h)
- Others : 80km/h (75km/h ~ 110km/h)

5. 분석 결과

앞서 제시한 서비스수준 및 중차량 비율 변화에 따라 차로변경을 금지한 대안과 차로변경을 허용한 대안에 대해서 VISSIM을 통해 시뮬레이션한 각 대안별 분석결과는 <표 6>과 같이 차로변경 허용에 따라 최대 14시간·대(중차량 30%, 서비스수준 F)에서부터 최소 4시간·대(중차량 50%, 서비스수준 A)까지 총통행시간 변화가 나타나 차로변경 허용시 대상구간의 소통개선 효과가 확인되었다.

또한 통행속도 개선측면에서는 차로변경 허용에 따라 최대 6km/h(중차량 35%, 서비스수준 A)에서부터 최소 2km/h(중차량 50%, 서비스수준 E)까지 평균통행속도가 개선되는 효과를 보였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 비현실적인 구조물 내의 차로운영 기준을 구조적, 안전적, 운전자 편의적인 시각에서 검토하고 이에 걸맞는 필요조건들을 만족하는 구조물에 대해서 차로변경을 허용해야 하며 이와 같은 방향으로 제규정이 수정되어야 할 것을 제안

<표 6> 시뮬레이션 분석 결과
 <Table 6> Analysis results of traffic simulations

서비스수준	대안	중차량 35%			중차량 50%		
		변경금지	변경허용	효과	변경금지	변경허용	효과
LOS A	총통행시간(대시)	78.92	73.84	-5.08	80.83	76.90	-3.93
	평균속도(km/h)	89.43	95.57	+6.14	87.31	91.77	+4.46
LOS B	총통행시간(대시)	162.45	152.80	-9.65	166.13	158.12	-8.01
	평균속도(km/h)	86.74	92.32	+5.58	84.91	89.21	+4.3
LOS C	총통행시간(대시)	250.04	238.64	-11.40	254.67	245.58	-9.09
	평균속도(km/h)	84.59	88.70	+4.11	83.11	86.18	+3.07
LOS D	총통행시간(대시)	340.88	327.60	-13.28	345.67	335.18	-10.49
	평균속도(km/h)	82.77	86.13	+3.36	81.63	84.18	+2.55
LOS E	총통행시간(대시)	436.24	422.88	-13.36	443.13	435.54	-10.59
	평균속도(km/h)	80.84	83.40	+2.56	78.76	80.96	+2.20
LOS F	총통행시간(대시)	461.69	447.76	-13.93	515.18	504.50	-10.68
	평균속도(km/h)	79.27	81.74	+2.47	78.63	80.89	+2.26

하였다.

또한 이의 근거를 뒷받침하기 위해 시뮬레이션을 통해 교량 및 터널구간에서의 차로변경금지에 따른 지체 발생상황을 예측하고, 그 대안으로 차로변경을 허용할 경우의 지체 감소효과를 분석하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

7.3km의 연속된 구조물 구간에서 차로변경을 전면적으로 허용할 경우서비스수준에 따라

- 최소 3시간·대(LOS A)에서 최대 14시간·대(LOS F)의 총통행시간 절감
- 차량당 최소 2kph(LOA E,F)에서 최대 6kph(LOS A)의 평균통행속도 개선의 효과가 도출되었다.

즉 터널과 교량 등의 복합적인 설치로 인해 현행 법상 차로변경을 금지하는 것은 소통측면의 손실을 가져오게 되는 큰 요인으로 작용하며 교통량의 변화(서비스수준의 변화)에 따라 평균통행속도는 구간별로 상이할 것이나 본 분석 구간의 경우 6kph까지 개선될 수 있음을 보여주는 결과로 해석된다.

또한 최근 고속도로 등을 중심으로 구조물에 대한 설계기준 및 방재기준이 강화되고 있으며 산악지 다설지역에 용설시스템이 도입되는 등 구조물 내 안전장치가 충분히 마련되고 있다. 따라서 안전을 고려할 때 이러한 안전장치가 확보된 구간에 대해서는 차로변경을 부분적으로 허용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 이상의 결과를 토대로 다음의 내용을 만족하는 구조물 구간 내의 차로변경 허용을 제안하는 바이다.

1. 우측길어깨가 2.5m 이상인 구조물(교량 또는 터널) 구간
2. 운전자의 원활한 차로변경을 유도할 수 있도록 도로안내표지, 전광표지판, 노면표지 등 충분한 교통안내시설이 설치된 곳
3. 결빙이 우려되는 지역에 설치된 교량의 경우 용설시스템을 구비한 곳
4. 터널의 경우 터널방재기준(2004.11) 및 터널조명기준(KSA 3703)을 만족하며 터널입·출구

부에 결빙방지설비가 구비된 곳

5. 터널 구간내 전조등을 점등한 차량에 한함

더불어 본 논문의 분석결과가 구조물 연속구간의 전체를 대표하기에는 범위가 제한적일 것이므로 향후에는 교통안전측면에서 구조물(교량, 터널)내 차로변경 허용에 따른 운전자 반응과 차량주행 특성을 도로주행 시뮬레이터 등을 이용한 시뮬레이션이 필요할 것이며 구조물 연속구간(교량, 터널)의 교통류 특성 및 용량산정(감소 특성) 방법, 구조물 간격에 따른 속도변화 특성 등에 대한 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

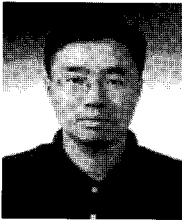
또한 향후 도로의 건설 및 운영에 적용되고 있는 현 설계기준에 대한 전반적인 재검토가 요구된다. 지속적인 기술발전 및 사회환경의 변화로 도로를 이용하는 사람과 도로를 건설하는 기술, 그리고 건설된 도로를 관리하는 운영기술의 첨단화가 이루어지고 있는 상황에 맞게, 이전에 만들어진 기준이 과연 현재에 적절한지에 대한 지속적인 관심과 노력이 필요하며 이에 대한 꾸준한 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] 건설교통부, *건설교통 통계연보*, 각 년도.
- [2] 건설교통부, *도로터널 방재지침서*, 2004.
- [3] 한국도로공사, *도로설계실무자료집*, 제2권, 1998.
- [4] 경찰청, *교통노면표시 설치·관리 매뉴얼*, 2005.
- [5] 한국도로공사, *한국도로공사 설계방침*, 2005.
- [6] FHWA, *Manual on Uniform Traffic Control Devices*, 2003.
- [7] 일본도로공단, *도로설계요령*, 2005.
- [8] 최준, *고속도로에서의 터널부 용량산정 및 교통류 특성 고찰*, 서울대학교 공학석사학위 논문, 1993. 2.
- [9] 유경수 외, *고속도로 교통지정체구간 개선방안 연구*, 한국도로공사 연구보고서, 1995.
- [10] 장현봉, 장덕형, "터널부 교통류 특성 및 용량산정에 관한 연구," *대한교통학회지*, 제16권, 제

- 3호, pp.16~24, 1998. 9.
- [11] 이재호, **국도상 터널구간의 교통류특성 및 용량산정에 관한 연구**, 한양대학교 공학석사 학위논문, 2000. 8.
- [12] H. S. Levinson, M. Goldenberg, and J. Howard, "Callahan tunnel capacity management," *Transportation Research Record*, vol. 1005, pp. 1~10, 1985.
- [13] M. Koshi, M. Kuwahara, and H. Akahane, "Capacity of sags and tunnels on Japanese motorways," *ITE Journal*, pp. 17-22, May 1992.
- [14] F. H. Amundsen and A. Hovd, *Norwegian Road Tunnelling*, Norwegian Soil and Rock Engineering Association, Norway, 1984.
- [15] T. Weng and P. Olszewski, "Highway capacity research and application in Singapore," *Proc. 2nd Int. Symp. Highway Capacity*, pp. 147~156, 1994.
- [16] 한국도로공사, **교량 및 터널구간 노면표지 설치기준**, 2005.
- [17] 대한민국 국가표준, **터널 조명 기준 (KS A 3703)**, 1992.

저자소개



유 호 인 (You, Ho-In)

2007년 : 아주대학교 ITS대학원 공학석사 (교통공학 전공)
 현 재 : 한국도로공사 설계처 과장



오 영 태 (Oh, Young-Tae)

1981년 : 한양대학교 공과대학 토목공학과 졸업
 1983년 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 도시계획학석사
 1985년 : Polytechnic Institute of New York, U.S.A 교통공학석사(현재 Polytechnic University)
 1989년 : Polytechnic University 교통공학박사
 현 재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

1989년 : 아주대학교 산업공학과
 1991년 : 아주대학교 대학원(석사)
 1998년 : 아주대학교 대학원(교통공학박사)
 2000년 : 미국 Texas A&M University TTI(Texas Transportation Institute) Visiting Scholar 과정
 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선 기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장
 현 재 : 아주대학교 ITS대학원 교수



정 우 현 (Chung, Woohyun)

2003년 : 아주대학교 환경도시공학부 공학사 (교통공학 전공)
 2005년 : 아주대학교 일반대학원 공학석사 (교통공학 전공)
 2007년 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 박사과정 수료
 현 재 : 아주대학교 부설 교통연구센터 연구원