

■ 論 文 ■

오르막차로 종점부 설계기준에 관한 연구

Suggestion of Design Criteria in Merge Areas of Climbing Lanes

권 오 철

(한국도로공사
설계처 과장)

원 제 무

(한양대학교 도시대학원
교통물류학과 교수)

김 상 구

(한국도로공사
도로연구소 책임연구원)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위
 - II. 오르막차로 설계기준비교
 - 1. 국내 오르막차로 설계기준
 - 2. 국외 오르막차로 설계기준
 - III. 자료수집 및 분석
 - 1. 조사대상 구간의 선정
 - 2. 조사내용 및 조사방법
 - 3. 자료수집 방법
 - IV. 모형식개발 및 설계기준적용
 - 1. 임계간격 모형식
 - 2. 합류확률 모형식
 - 3. 관련 설계기준 적용
 - V. 결론
- 참고문헌

요 약

본 논문은 고속도로의 오르막차로 구간을 대상으로 종점부의 설계기준을 제시하고자 하는 목적으로 미시적 관점에서 교통행태를 규명할 수 있는 임계간격 모형과 합류확률 모형식을 개발하였다. 오르막차로 종점부 최저허용속도의 분석결과는 2차로 고속도로에서는 60km/hr, 4차로 고속도로에서는 75km/hr로 나타나 2차로에서는 현행기준과 동일하고 4차로의 경우는 현행기준 보다 약 15Km/hr정도 높게 적용하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다. 또한 오르막차로 종점부 부가길이 산출결과는 오르막차로 종점부 최저허용속도 기준과 비교해볼 때 4차로 고속도로의 경우, 부가길이가 약 200m 정도 필요한 것으로 나타나 오르막차로 종점부 최저허용속도를 상향시킬 필요가 있는 것으로 분석되었다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

연속류 구간의 대표적 도로시설인 고속도로에서는 신호등과 같은 교통통제 설비없이 도로의 기하구조와 도로위를 통행하는 차량들의 상호작용의 영향에 의해서만 교통흐름이 결정된다.

고속도로에서 교통흐름의 질적 저하를 나타내는 용량 저하구간으로는 인터체인지 합분류 구간, 터널구간 및 오르막구간 등이 있으며 용량저하 구간의 정확한 교통분석 및 합리적 운영은 전체 고속도로 구간의 용량증대 및 서비스 제고에 커다란 영향을 미친다는 점에서 매우 중요하다.

평지부 도로에서는 차종간의 속도차가 크지 않아 차종에 관계없이 비슷한 속도를 유지할 수 있어 교통용량과 서비스 수준을 안정되게 유지할 수 있다. 그러나 오르막 구배 구간에서는 단위마력당 중량이 높아 등반능력이 떨어지는 대형차가 저속으로 주행하게 됨으로써 전체 교통류에 영향을 주게 되며, 구배, 오르막차로 길이, 대형차 혼입을 등에 따라서 영향의 정도가 좌우된다.

도로의 구조·시설 기준에 관한 규정에 의하면 고속도로의 경우에 종단구배가 3%를 초과하는 구간에 대하여 필요하다고 인정되는 경우에는 오르막차로를 설치하도록 되어 있다. 현행규정은 오르막차로의 설치구간을 종단구배에 따른 속도의 변화를 나타내는 구배와 속도와의 상관관계도를 이용하여 주어진 특정의 구배구간에서 화물차의 속도가 허용최저속도보다 낮게되는 구간에 오르막차로를 설치토록 하고 있다. 이러한 기준은 미국, 일본 등의 기준을 준용하고 있어 국내 교통상황, 특히 화물차의 능력, 화물적재 특성, 운전자의 특성 등에 대한 고려가 미흡한 실정이다.

특히, 우리나라와 같이 산악지가 많은 지형조건에서 종단선형이 불량한 구간에 저속차량을 분리하기 위하여 설치하는 오르막차로 합류지점은 교통안전 및 교통흐름상 많은 문제점을 나타내고 있다. 따라서 오르막차로 합류지점에서의 교통행태를 분석하고 적절한 설계기준을 제시함으로써 사고예방과 교통소통의 원활화를 기하고자 한다.

2. 연구의 범위

본 연구는 오르막차로에 관한 국내외의 기존 연구를 고찰하고 현재의 교통여건 및 특성에 맞는 분석방법론의 정립과 모형식 개발, 그리고 이를 이용한 오르막차로 종점부 설계기준을 제시하는 것을 목적으로 하고 이를 위하여 현장조사를 통한 다양하고 정확한 자료수집이 수행되었다.

II. 오르막차로 설계기준비교

1. 국내 오르막차로 설계기준

도로의 구조 시설에 관한 규정 제21조에 의하면 종단구배가 5%(고속도로의 경우에는 3%)를 초과하는 구간에는 필요하다고 인정하는 경우에는 오르막차로를 설치하되, 다만 설계속도가 매시 40킬로미터 이하인 경우에는 오르막차로를 설치하지 아니할 수 있으며 오르막차로의 폭은 3미터로 하고, 본선차로에 붙여서 설치하도록 규정하고 있다.

우리나라는 일본의 규정과 같이 고속도로에서는 종단구배가 3%이상이고 구배구간의 길이가 트럭이 허용된 최저속도를 유지하며 주행할 수 있는 제한길이를 초과할 경우에 오르막차로를 설치하여야 한다. 오르막차로 설치구간 산정은 다음과 같은 전제조건하에 속도-구배도에 의한다.

- ① 오르막구간에서 화물자동차의 등반능력은 중량/마력비 300Ib/hp를 표준으로 한다.
- ② 화물자동차의 허용최저속도는 설계속도 80km/hr이상인 경우에는 60km/hr, 설계속도 80km/hr미만인 경우에는 설계속도에서 20km/hr를 감한 값으로 한다.
- ③ 허용최저속도 이하의 구간이 200m미만이 되는 경우에는 오르막차로를 설치하지 않을 수 있다.
- ④ 시점부 테이퍼 길이는 45m이상 설치한다.
- ⑤ 종점부 테이퍼는 60m이상으로 하고 내리막 구배구간에 설치함을 원칙으로 한다.

2. 국외 오르막차로 설계기준

1) 미국

AASHTO에서 규정한 고속도로 및 다차선도로에

서의 오르막 차로 설치기준은 300lb/hp 트럭기준으로 오르막구배의 트럭의 평균주행속도가 다른차량의 평균주행속도보다 10mph가 저하되거나 오르막 구간에서의 서비스 수준이 D이하로 저하되는 경우에 설치하도록 하고 있다.

속도저하의 기준은 속도차이가 10mph보다 커질 때 교통사고 위험이 현저하게 증가한다는데 근거를 두고 있다.

2) 독일

독일의 경우에도 우리나라와 유사하게 오르막구간에서의 기준트럭(톤당6마력)의 허용 최저속도를 기준으로 하고 있으며 구체적인 설계기준¹⁾은 다음과 같다.

- (1) 오르막차로의 시점은 설계속도가 100km/hr 이상인 구간에서는 트럭의 주행속도가 70km/hr, 설계속도가 80km/hr 이상인 구간에서는 트럭의 주행속도가 60km/hr가 되는 지점부터로 한다.
- (2) 오르막차로의 종점은 트럭의 주행속도가 60km/hr에 다시 이르는 지점으로 한다.
- (3) 오르막차로 설치의 연장은 1,500m로 하며, 1,500m보다 짧을 경우에는 시점, 종점의 양측으로 연장하여 1,500m로 한다.
- (4) 오르막차로의 설치간격이 2,500m 이하의 경우에는 연결시킨다.
- (5) 테이퍼의 길이는 시점에서 80m, 종점에서 250m로 한다.
- (6) 오르막차로의 폭은 본선 차로폭과 동일하다.

3) 기타

일본의 경우에는 오르막구간에서의 기준트럭(톤당

10마력)의 허용 최저속도를 기준으로 하고 있으며 오르막차로 종점부측에 허용최저속도까지 회복한 지점의 종단구배 값을 표준으로 부가가능 길이를 더해주는 것으로 적용하고있다.

국내기준을 미국과 독일기준과 비교하여 보면 시종점부의 테이퍼길이는 AASHTO의 최소기준을 준용하고, 최소연장이나 오르막 차로폭에서도 외국 설치규격 기준보다 낮은 기준을 적용하고 있으며 독일에서 시행하고 있는 오르막차로의 설치간격 및 일본에서의 종점부측 부가길이 규정은 우리나라에는 없는 실정이다.

III. 자료수집 및 분석

1. 조사대상 구간의 선정

현장조사 구간은 오르막차로의 기하구조(종단구배, 차로수, 오르막차로의 길이 및 차로폭, 테이퍼의 길이, 오르막차로 위치 등) 및 교통특성(교통량, 대형차 혼입율, 차로별 교통량 분포, 주행속도 등)을 고려하여 4차로 3개소, 2차로 3개소 등 총 6개소를 선정하였다.

선정된 조사지점은 <표 1>에서 보는 바와 같이 경부고속도로 1개 구간, 중부고속도로 1개 구간, 서울외곽순환고속도로 1개구간, 중앙고속도로가 2개 구간, 영동고속도로 1개구간이며 오르막차로의 연장은 서울외곽순환고속도로 Sta. 0.9KM 지점이 625M로 가장 짧고, 중부고속도로 5.74KM 지점이 2,460M로 가장 길다. 종단구배의 범위는 3.50%~6.99%였다.

<표 1> 현장조사지점 현황

차로	노선	시점 (KM)	종점 (KM)	행선	연장 (M)	시점부 길이 (M)	종점부 길이 (M)	종단구배 (%)	오르막 차로폭 (M)
4	순환	1.45	0.87	상	625	45	60	3.5	3.6
	경부	282.5	281.3	상	1,160	50	40	6.00	3.0
	중부	5.74	8.20	하	2,460	85	65	4.00	3.6
2	중앙	180.69	181.90	하	1,210	45	60	5.99	3.0
		182.35	181.43	상	920	45	60	5.99	3.0
	영동	123.80	125.04	하	1,240	40	50	6.99	3.5

1) 西側に於ける 最近の 道路設計手法, 高速道路と自動車, 1980.

2. 조사내용 및 조사방법

현장조사는 특정요일에 관계없이 상행선, 하행선의 교통상태 중 오르막차로의 교통류 변화가 관측될 수 있는 시간대에 수행하였다.

조사시간은 교통량 변동에 따라 1~2시간을 기준으로 하였으며 조사구간의 차로별 교통량에 따라 차이가 있게 되어 조사구간에 따라 측정시간은 상이하다. 각 조사구간은 1회 15분 조사로 3~4회 조사하였다.

1) 도로시설자료

기하구조 조사범위를 오르막차로가 설치된 구간 및 그 전후에 오르막차로 교통에 영향을 줄 수 있는 구간으로 하여 도로기하구조 사항(종단구배, 오르막구간 길이, 오르막차로 설치길이, 시·종점부 테이퍼 길이, 도로폭 및 차로폭, 기타 도로기하구조)에 대해 조사하였다.

2) 교통현황자료

오르막차로 교통류 특성의 근본적인 변화 상황을 분석하기 위하여 조사위치별, 차로별로 통과교통량(대형과 소형자동차로 분류), 통과차량의 차두간격, 통과차량의 차중을 구분하여 조사하였다.

교통특성 현장조사는 현장에서 VTR촬영을 위주로 하였으며 관측위치는 오르막차로의 합류를 인지할 수 있는 합류 200m전방에서부터 합류 지점으로 정하였다.

3. 자료수집 방법

1) 자료 추출

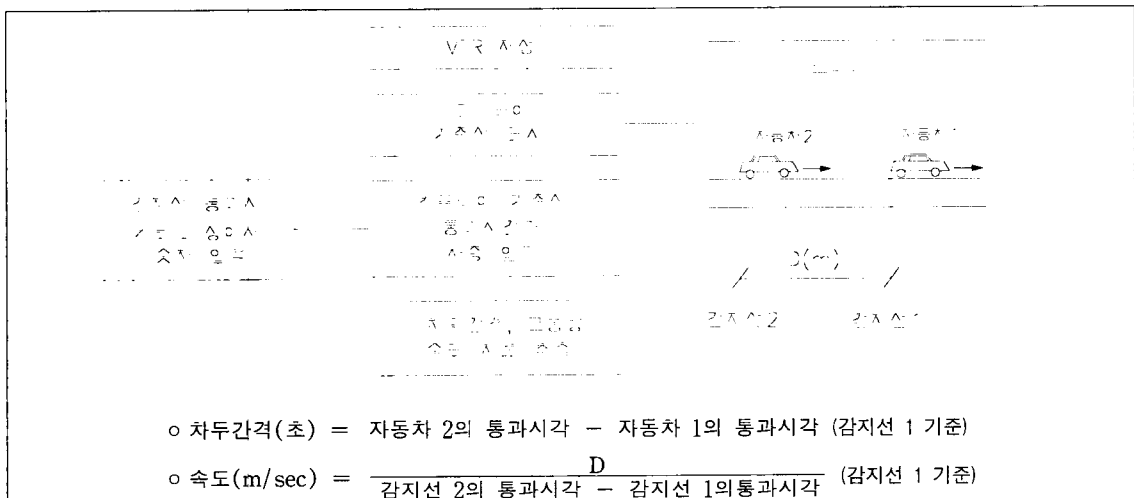
비디오 촬영한 자료는 각 조사 지점별로 교통류 및 도로관련 자료를 수집한 후 자료분석을 용이하게 수행하기 위하여 수집된 운행시간, 교통량, 차두간격 등을 포함한 자료들을 정리하였다. 이 작업은 현장 교통류를 촬영한 비디오 테이프로부터 자료추출과 자료정리를 하는 과정으로서, <그림 1>과 같이 비디오 재생기를 이용하여 화면을 재생하는 과정, 화면에서 기준선을 설치하는 과정, 비디오 화면상에서 차량들이 기준선을 통과할 때 각 차종별로 정해진 숫자를 쳐서 컴퓨터에서 발생한 시간을 입력시키는 과정, 입력된 자료를 분석하여 교통량 자료를 추출하는 과정을 포함한다.

2) 자료수집 항목

(1) 차간간격(GAP)의 측정

오르막차로 합류부의 교통특성을 파악하기 위해 선정된 지점은 중앙고속도로 2개지점, 서울외곽순환 고속도로 1개지점 및 중부고속도로 1개지점으로 가장 일반적인 오르막차로 유형인 본선 1-2차로, 오르막차로 1차로 형태를 가지고 있으면서 도로선형상 직선이고 교통량 수준도 전체 영역을 차지하는 합류부 구간이므로 선정하였다.

자료를 수집하기 위하여 조사지점에 대한 비디오



<그림 1> 교통조사 자료 추출과정

촬영을 하고 실내작업을 통하여 기초적인 교통변수 자료를 획득하였으며 자료항목을 나열하면 다음과 같다.

- ① 본선 접속차로 및 오르막차로의 개별차량 자료
- ② 개별차량에 대한 속도, 검지시간, 점유시간, 차량 길이 자료
- ③ 오르막차량의 본선 합류 지점

위에서 언급된 조사항목을 구하기 위해서 본선과 오르막차로의 합류를 인지할 있는 오르막차로 종점부터 200M 범위에서 합류차량의 속도 및 차두간격을 측정하였다. 또한 합류시 본선차량의 차두간격에서 점유율을 빼줌으로써 합류간격을 구하였다.

(2) 임계간격(T)의 결정

일반적으로 임계간격을 구하는 방법으로는 수락간격 누적곡선과 거절간격 누적곡선의 교점으로 결정하는 방법, 수락간격의 평균치 혹은 중앙값을 사용하는 방법, 그리고 D.R. Drew가 제시한 모형식을 이용하는 방법 등이 있다.

합류지점별 임계간격의 결정시 지점에 따라 수락 및 거절간격의 빈도수가 크게 차이나므로 수락 및 거절간격곡선을 이용하는 방법은 실제적으로 현장에서 조사가 어려우며, 기존의 모형식을 이용하는 방법은 오르막차로 합류부의 기하구조를 설명하는 모형식 자체가 국내에 없고 모형식 개발도 어려운 여건이므로 본 연구에서는 상기의 여러가지 방법중 일반적으로 사용되고 있는 수락간격의 평균값을 이용하였으며, 현장 조사시 수락간격의 값은 가장 이상적인 상태로 판단되는 값을 사용하였다.

(3) 오르막차로 차량의 합류확률

본선의 교통량에 따라서 차량간의 차두간격 분포가 서로 다르게 나타나며, 이는 오르막차로 차량의 합류 확률과 밀접한 연관을 가진다. 따라서 임의의 T보다 큰 본선 차량간격(Gap)의 갯수를 교통량 수준별로 구하여 백분율로 환산한다면, 교통량에 따른 합류확률을 알 수 있고 이를 이용하여 합류확률 모형식을 개발할 수 있다. 이는 차후에 보편적 임계간격(T)인 2~7초에 대해서 위의 과정을 수행하고, 임계간격과 본선 접속차로 교통량에 따른 합류확률 모형식이 제공된다면, 임의의 오르막차로에서의 차량의 합류확률은 구할 수 있다.

IV. 모형식개발 및 설계기준적용

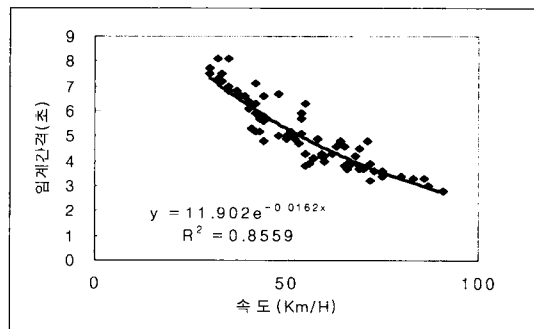
1. 임계간격 모형식

오르막차로를 주행한 차량이 본선에 합류시 본선 접속차로의 차간간격 분포는 교통량에 따라 다양한 변화를 보이며 따라서 본선 접속차로의 교통량에 따른 차두간격의 확률을 구하고 오르막차로 합류차량의 속도에 따른 임계간격을 추정한다면 교통량에 대한 적정합류 확률을 부여할 경우 합류에 필요한 속도를 구할 수 있다.

〈그림 2〉는 오르막차로 차량 합류속도에 따른 임계간격을 나타낸 것으로 임계간격은 일반적으로 사용되고 있는 수락간격의 평균값을 사용하였다.

한편 현장 조사시 수락간격의 값은 조사자의 기준에서 이상적인 상태를 나타내고 있다고 판단되는 값을 기준으로 하였는데 이는 본선 접속차로의 간격중에서 본선 교통류에 영향이 없이 오르막차량이 진입하기 위하여 수락한 간격을 의미하고 이상적인 상태라 함은 오르막 진입차량과 추종차량이 브레이크 등 감속행태가 발생되지 않는 간격을 분석자가 직접 눈으로 확인하여 수락간격을 결정한 것을 의미한다. 또한, 오르막 진입차량이 본선 교통류의 간격에 합류할 때, 선두차량과 진입차량간의 간격도(선두차량과 진입차량간의 간격이 일정크기 이상 떨어지지 않은 경우) 고려하여 결정한 것을 의미한다.

모형식의 추정과정은 각 개별차량의 속도를 측정하고 이때 본선으로 합류하는 수락간격을 결정하여 데이터를 구했으며 이를 이용하여 오르막차로 차량의 속도를 변수로 하는 회귀분석을 수행하여 임계간격 모형식을 개발하였다.



〈그림 2〉 합류차량 속도별 임계간격

■ 임계간격 모형 : $T=11.902e^{-0.0162V}$,
 $(R^2 = 0.8559)$ (1)

여기서, T : 임계간격(초)
 V : 속도(Km/Hr)

각 모형식의 회귀분석 통계량 결과와 모형식 계수 적합도 검증(F비, t통계값) 결과를 정리하면 다음과 같다.

○ 회귀분석 통계량

- 다중 상관계수 : 0.925153
- 결정계수(R) : 0.855908
- 조정된 결정계수 : 0.853987
- 표준오차 : 0.102518
- 관측수 : 77

〈표 2〉 모형식 분산분석 결과

구분	자유도	제곱합	제곱 평균	F비	유의한 F
회귀	1	4.682179	4.682179	445.5004	2.78E-33
잔차	75	0.788245	0.01051		
계	76	5.470424			

〈표 3〉 모형식의 회귀분석 결과

구분	계 수	표준오차	t 통계량	P-값	하위95%	상위95%
Y절편	2.476702	0.044124	56.13097	5.12E-63	2.388803	2.5646
X1	-0.01617	0.000766	-21.1069	2.78E-33	-0.01769	-0.01464

회귀분석 결과, 모형식의 결정계수 (R^2)가 0.85 이상으로서 적합한 모형으로 판단되고 모형식 및 계수의 적합도 검증 결과도 F비 및 t 통계량 모두 기준값보다 크므로 유의한 것으로 분석되었다.

2. 합류확률 모형식

차두간격을 교통량의 역수라고 정의할 수 있으므로, 교통량의 변화에 따라서 본선의 차두간격 분포는 다양한 변화추이를 보인다. 차간간격 분포는 차두간격 분포에서 차량길이에 해당하는 값을 감한 것으로부터 구할 수 있고 일정 임계간격보다 큰 차간간격의 누적 비율이 합류할 수 있는 확률로서 받아들여질 수 있다. 즉, 임의의 합류부에서 본선 접속차로(본선 차로 중 에서 가장 바깥쪽에 있는 차로로서 오르막차로와 접

해있는 본선차로)의 교통량과 임계간격을 알고 있다면, 합류가능 확률을 회귀모형식으로부터 구할 수 있다.

각 임계간격별 회귀모형식을 구해보면 대부분 지수 함수 형태를 가지고 있으며, 회귀모형식이 종속변수를 설명하는 정도를 나타내는 결정계수(R^2)가 모두 0.80 이상으로 식이 적합함을 보여준다.

〈표 4〉 임계간격별 합류확률 모형

임계간격(초)	회 귀 식	결정계수(R^2)
2	$Y=95.933e^{-0.0005X}$	0.8621
3	$Y=100.76e^{-0.0009X}$	0.8291
4	$Y=110.64e^{-0.0014X}$	0.8428
5	$Y=78.487e^{-0.0013X}$	0.8350
6	$Y=73.586e^{-0.0015X}$	0.8384
7	$Y=80.237e^{-0.002X}$	0.8228

임계간격이 작을수록 회귀모형식은 직선형에 가깝고, 임계간격이 커짐에 따라서 완전한 지수함수의 형태를 취한다. 즉, 교통량이 적을 때에는 차두간격의 무작위성이 강하게 나타나고 임계간격의 변화에 민감하게 반응하지 않는다.

하지만, 교통량이 일정수준에 도달하게 되면 대부분의 차두간격이 일정범위 내에 존재하여, 임계간격이 커짐에 따라서 차두간격이 T보다 클 확률이 크게 감소하게 된다. 임계간격이 커질수록 그래프상의 회귀식이 아래로 이동하고 있는데 이것은 임계간격보다 더 큰 본선의 차두간격의 갯수가 감소하는 것을 의미하는 것으로 본선의 차두간격이 어떠한 일정범위 내에서 비교적 적은 값을 가지기 때문이다.

일정한 임계간격과 그보다 큰 간격분포의 비율을 변수로 설정하여 회귀분석을 수행하고, 이를 가지고 회귀분석식에 사용된 자료와 각 임계간격들을 통합하여 다양한 데이터 조합을 만든 후 임계간격과 교통량을 독립변수로 하는 합류확률 모형식을 다중 회귀분석을 수행하여 구축하였는데 그 결과는 다음과 같다.

■ $P=-0.03122 Vol-8.66818 T+102.3665$ (2)
 $(R^2=0.899)$

여기서, P : 합류확률(%)
 Vol : 본선 접속차로 교통량(대/시)
 T : 임계간격(초)

모형식에 대한 적합도 검증결과는 F비 1158.628로서 아주 높은 유의성을 가지는 것으로 분석되었고 계수에 대한 검증도 3가지 모두 유의하여 적합한 모형식임을 알 수 있다.

- 회귀분석 통계량
 - 다중 상관계수 : 0.948034
 - 결정계수 : 0.898769
 - 조정된 결정계수 : 0.897993
 - 표준오차 : 6.276798
 - 관측수 : 264

〈표 5〉 통합모형식의 분산분석 결과

구분	자유도	제곱합	제곱평균	F 비	유의한 F
회귀	2	91285.7	45647.85	1158.628	1.6E-130
잔차	261	10282.93	39.39819		
계	263	101578.6			

〈표 6〉 통합모형식의 회귀분석 결과

구분	계 수	표준오차	t 통계량	P-값	하위95%	상위95%
Y절편	102.3665	1.559711	65.63173	3.0E-164	99.29528	105.4377
X 1	-8.66818	0.2262	-38.3209	3.6E-109	-9.11359	-8.22277
X 2	-0.03122	0.001072	-291336	5.24E-84	-0.03333	-0.02911

3. 관련 설계기준 적용

지금까지 고속도로 오르막차로 합류부를 대상으로 교통 특성변수의 도출과 관련 모형식을 개발하였다.

본 절에서는 지금까지의 연구를 토대로 한 적용분야로서 고속도로 오르막차로 설치기준의 문제점을 보완하고 오르막차로 합류부의 교통특성 및 행태를 반영한 설계기준을 검토한다.

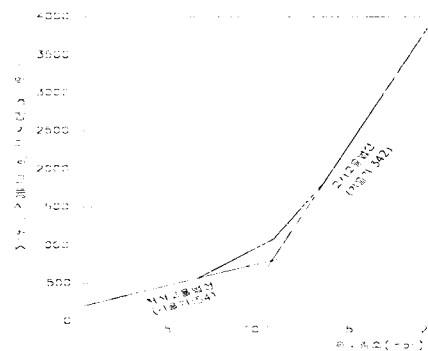
1) 오르막차로 설치 구간결정

미국에서 보고된 연구 결과²⁾에 의하면 그림 3.3에 제시되어 있는 바와 같이 화물자동차의 속도와 다른 차량의 속도와의 차이가 크면 클수록 화물자동차의 교통사고율은 증가하는 것으로 나타나고 있다. 저사고율 법선과 고사고율 법선이 교차하는 경우의 화물자동차와 다른 차량과의 속도차이는 11mph(17.6 km/hr)로 나타나고 있다. 저사고율 법선의 경우에는 1mph

의 속도차이마다 1억마일 주행거리당 교통사고가 54건이나 고사고율 법선의 경우에는 1mph의 속도 차이마다 1억마일 주행거리당 교통사고가 342건으로 6.3배나 높게 나타나고 있다. 따라서 고사고율 법선과 저사고율 법선이 교차하는 11mph(17.6 km/hr)를 안전적 측면에서 볼 때 오르막차로의 설치구간을 결정하는 기준으로 함은 타당성이 있다고 판단된다.

따라서 20km/hr의 속도차이를 기준으로 오르막차로를 설치하도록 하는 현재 지침은 위의 경우와 비교할 때 커다란 무리는 없으나 설계속도 80km/hr 이상인 모든 도로의 경우에 오르막차로의 최저허용속도를 60km/hr로 정하고 있는 것은 안전상에 커다란 위해요인으로 작용되고 있다. 예를 들어 설계속도와 제한속도가 100km/hr인 경부고속도로의 경우에는 오르막구간에서의 속도차이가 40km/hr 이상 생기게 되고 설계속도가 110km/hr인 중부고속도로의 경우에는 오르막구간에서의 속도차이가 50km/hr 이상 생기게 되어 화물자동차의 교통사고 발생률이 높게 예상되는 것이다.

하지만 오르막구간에서의 속도차는 도로의 설계속도에 의해서만 결정되는 것이 아니라 오르막구간에서의 기하구조, 교통량 및 오르막차로 종점부의 위치 등에 따라 다양하게 나타날 수 있으므로 현행 오르막차로의 설치위치 결정의 기준으로 적용하고 있는 최저허용속도에 대한 기준을 오르막차로 합류부의 합류기회를 감안하여 적정한 종점부 설계기준으로 제시코자한다.



〈그림 3〉 오르막구간에서의 속도감소와 교통사고와의 관계도

2) A.D.St. John and D.W.Harwood, Safety Considerations for Truck Climbing Lanes on Rural Highways, TRR 1303, TRB, 1991.

2) 오르막차로 종점부 최저허용속도 산정

앞서 본선 접속차로의 교통량과 임계간격을 변수로 오르막차로 차량의 본선 합류확률을 산정할 수 있는 합류확률 모형식을 구축하였다.

본 연구에서의 오르막차로 합류부 최저허용속도 산정은 본선 접속차로 교통량과 임계간격에 따른 합류확률이 근거를 두고 있으며, 따라서 <표 7>의 과정을 통하여 위에서 제시된 임계간격 모형식에 합류확률 모형식을 통합하여 적정 합류확률 및 임계간격에 따른 오르막차로 합류부에서의 최저허용속도(오르막차로 종점부 위치를 결정하는 기준)산정을 위한 모형으로 변형하였다.

아래의 결과에서 보듯이 오르막차로 종점부 최저허용속도는 본선접속차로의 교통량에 의해 결정되는 모형식으로 표현되는데 이때 합류확률은 85%의 합류확률을 적용코자하였으나 우리나라 고속도로 오르막차로에서 각 교통량별로 조사하였을 때 일반적으로 발생하는 t=2~7 초 사이의 차간간격 중 가장 적은 t=2초 이상의 확률이 85%를 넘는 경우는 없어 합류확률 50%를 가정하였다. 일반적으로 교통분야에서는 어떠한 분포의 임계치를 결정하는 확률로서 15%, 50%, 85%를 주로 사용하고 있고 본 연구에서는 수집된 수락간격 중에서 t=2초 이상의 확률이 되는 자료가 존재하지 않아서 합류확률을 50%를 기준치로 하여 도출된 결과이다.

따라서 합류에 필요한 최소임계간격 합류확률 50%의 의미는 오르막차로 차량이 이상적 합류가능한 확률이 50%임을 의미하며 나머지 50%는 강제합류하는 것을 가정한 것인데 이는 현실적인 현상을 감안할 때 타당한것으로 판단된다.

■ 모형식 : $V = -0.0162^{-1} \{ \ln(0.50758 - 0.0003 Vol) \}$
 여기서, V : 최저허용속도(Km/hr) (3)
 Vol : 본선 접속차로 교통량(대/시)

<표 7> 최저허용속도 산정모형의 산출과정

임계간격 모형식	$T = 11.902e^{-0.0162V}$	①
합류확률 모형식	$P = -0.03122 Vol - 8.66818 T + 102.3665$	②
식 ①, ② 연립	$V = -0.0162^{-1} \{ \ln(0.50758 - 0.0003 Vol) \}$	③

3) 최저허용속도 산정 결과

앞서 구축된 오르막차로 종점부 최저허용속도 산정모형식은 본선 접속차로 교통량에 따라 오르막차로 종점부의 최저허용속도를 산정할 수 있으며 위에서 제시한 모형식을 이용하여 본선 접속차로 교통량별 오르막차로 종점부 최저허용속도를 산정한 결과는 <표 8>과 같다.

지방부 고속도로 설계기준으로 제시하고 있는 서비스수준"C"의 교통량을 감안할 경우 2차로 고속도로에서는 60Km/hr(현행기준 동일), 4차로 고속도로에서는 75Km/hr로 나타나 2차로에서는 현행기준과 동일하고 4차로의 경우는 현행기준 보다 약 15Km/hr정도 높게 적용하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다.

<표 8> 오르막차로 종점부 최저허용속도

구 분	최저허용속도(Km/h)	비 고
300대/시일 때	54	
400대/시일 때	59	2차로 LOS C
500대/시일 때	64	
700대/시일 때	75	4차로 LOS C
850대/시일 때	85	
1,000대/시일 때	97	

주) 서비스수준은 중차량 30%, 설계속도 100km/hr로 가정, 산정함
 - 2차로: $3,200 \times 0.43 \times 0.44 \times 0.60 = 363 \approx 400$
 - 4차로: $2,200 \times 0.70 \times 0.45 = 693 \approx 700$

4) 설계기준의 적합성 검토

임계간격 결정시 사용한 수락간격의 값은 조사자의 판단으로 가장 이상적인 상태라 생각되는 값을 기준으로 하였으며 따라서, 이같은 한계성을 내포한 임계간격 모형을 이용하여 제시한 오르막차로 종점부 최저허용속도 설계기준의 적합성을 검토하기 위하여 현재 적용하고있는 오르막차로 최저허용속도 60Km/hr 구간에 합류를 위한 종점부 부가길이를 부여하는 방식과의 비교를 시행하였다.

오르막차로 종점부 부가길이 산정은 기 구축한 합류확률 모형식의 임계간격(T)를 만족하는 가속차로 산출임계모형식³⁾을 이용하여 산출하였으며 이 같은 적용은 합류기회를 감안하여 연결로 교어부에서부터 부가하는 가속차로길이를 오르막차로 최저허용속도 지점이후 합류에 필요한 부가길이와 같은 개념으로 보아 적용하였다. 또한 <표 8>에서 제시한 2차로 59km/hr, 4차로

3) 한국도로공사, 고속도로 유출입 교통행태 분석 및 가감속차로 설계운영기준연구, 1996.

75km/hr의 오르막차로 허용속도의 비교를 위해서 기존에 알려진 가속차로 산출 임계모형식을 사용하였다

■ 모형식 : $T = -0.005678L - 0.00007586 V^2 + 4.9088$ (4)

여기서, T : 임계간격(초)

L : 가속차로 길이(m)

V : 연결로 차량 고어부 진입속도(Km/hr), 60Km/hr적용

<표 9> 오르막차로 종점부 부가길이 산정결과

구 분	계산길이(m)	적용길이(m)	비 고
300대/시일 때	-57	0	
400대/시일 때	6.3	0	2차로 LOS C
500대/시일 때	69.7	70	
700대/시일 때	196.5	200	4차로 LOS C
850대/시일 때	291.7	300	
1,000대/시일 때	386.8	400	

오르막차로 종점부 부가길이 산출결과와 앞서 제시한 오르막차로 종점부 최저허용속도 기준을 비교해볼 때 교통량 300대에서는 계산값이 -57m로 최저허용속도 60Km/hr보다 작은 값으로 나타나고 교통량 400대에서는 계산값이 6.3m로 최저허용속도 60Km/hr와 일치하며 교통량 700대에서 부가길이가 약 200m 필요한 것으로 나타나 앞서 제시한 오르막차로 종점부 최저허용속도 기준과 일치하고 있다.

하지만 일반적으로 오르막차로 설치구간은 속도-구배도에 의하여 산출하고 있으므로 최저허용속도 60Km/hr 구간에 합류기회를 위한 부가길이를 부여하는 방식은 2번의 계산이 필요하므로 실용적 측면에서 설계기준으로는 종점부에서 오르막차로 최저허용속도를 높이 적용하는 것이 편리할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 고속도로의 오르막차로 구간을 대상으로 합류부의 교통 특성을 분석하고 적절한 설계기준을 제시하고자 하는 목적으로 수행되었다.

오르막차로 합류구간의 교통특성을 모형화하기 위하여 미시적 관점에서 교통행태를 규명할 수 있는 임계간격 모형과 합류확률 모형식을 개발하였다.

교통특성 분석 및 모형식 개발의 적용분야로서 오르막차로 합류구간에서의 설계기준 설정에 대한 방법론을 제시하였으며 새로운 방법론에 의한 설계기준을 산정하였다.

위와 같은 분석과정에서 도출된 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

■ 임계간격 모형식 개발

- 오르막차로 합류부의 운영상태를 평가할 지표인 임계간격을 결정할 수 있는 모형식을 오르막차로에서 본선합류 차량의 진입속도를 변수로 개발하였다.

• 모형식 : $T = 11.902e^{-0.0162V} (R^2 = 0.8559)$
여기서, T : 임계간격(초), V : 속도(Km/Hr)

■ 합류확률 모형식 개발

- 합류특성은 본선 교통량이 제공하는 차간간격(Gap)과 밀접한 관계를 가지므로 본선 교통량에 따른 간격분포를 이용하여 임계간격별 합류확률 모형식을 개발하였다.

- 모형식은 교통량수준에 따라 음지수함수 형태를 보이며 교통량과 임계 간격을 변수로 하는 통합모형식을 개발하였다.

• 모형식 : $P = -0.03122 Vol - 8.66818 T + 102.3665 (R^2 = 0.899)$

여기서, P : 합류확률(%)

Vol : 본선 접속차로 교통량(대/시)

■ 오르막차로 종점부 최저허용속도 산정

- 임계간격 및 합류확률 모형식을 통합하여 본선 접속차로 교통량을 설명변수로 오르막차로 종점부의 최저허용속도를 산정하는 모형식을 개발하였다.

• 모형식 : $V = -0.0162^{-1} \{ \ln(0.50758 - 0.0003 Vol) \}$
여기서, V : 최저허용속도(Km/Hr)

- 오르막차로 종점부 최저허용속도 산정결과

구 분	최저허용속도(Km/hr)	비 고
300대/시일 때	54	
400대/시일 때	59	2차로 LOS C
500대/시일 때	64	
700대/시일 때	75	4차로 LOS C
850대/시일 때	85	
1,000대/시일 때	97	

한편 본 연구에서는 다음과 같은 향후 연구과제가 필요하다.

첫째, 오르막차로 합류부에서 임계간격 결정모형의 변수를 속도만으로 결정하였으나 오르막차로 종점부 부가길이와 같은 기하구조 요소와 같은 다른 특성에 대한 영향도 고려되어야 한다. 둘째, 본 연구에서 고속도로 오르막차로 합류부만을 대상으로 하고 있으나, 오르막차로 시점 분기부에 대해서도 추가 연구가 필요하다.

마지막으로, 본 연구를 토대로 고속도로 오르막차로 합류부의 영향권 범위 및 이에 따른 보다 발전된 분석체계 등의 연구가 필요하리라 판단된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1991), "오르막차선 및 양보차선의 설계지침연구 보고서".
2. 건교부(1990), "도로의 구조, 시설기준에 관한 규정".
3. 일본도로공단(1990), "도로설계요령, 제1권".
4. 장명순·유경수(1994), "오르막차선 설치기준 및 운영방안평가", 대한교통학회지 제12권 제1호, 대한교통학회.
5. 임강원·강정규(1985), "우리나라 고속도로의 기하특성과 교통사고 발생률과의 상관관계에 관한 연구", 대한교통학회지 제3권 제1호, 대한교통학회.
6. 한국도로공사(1995), "고속도로 유출입 교통행태 분석 및 가감속차로 설계운영기준 연구".
7. 김상구(1997), "고속도로 합류구간 교통특성 및 용량모형식 개발 연구", 서울대학교 박사 학위 논문.
8. AASHTO(1990), "A Policy on Geometric Design of Highways and streets".
9. TRB(1985), "Highway Capacity Manual," Special Report 209.
10. TRB(1994), "Highway Capacity Manual," Special Report 209.
11. 高速道路と自動車(1980), 西獨における 最近の道路設計手法.
12. Drew, D.R.(1968), "Traffic Flow Theory and Control," McGRAW-HILL.
13. Drew, D.R, et al(1967)., "Gap Acceptance in the Freeway Merging Process," HRR 208, Highway Research Board.
14. Mine, M., and Mimura. T.(1969), "Highway Merging Problem with Acceleration Area," Transportation Science Vol 3.
15. Michaels, R.M., and Fazio, J.(1989), "Driver Behavior Model of Merging," TRR 1213, TRB.
16. Fukutome, I. and Moskowitz, K.(1960), "Traffic Behavior and Ramp Design," TRR Bulletin 235, TRB.
17. Polus, A. and Livnch, M.(1987), "Comments on Flow Characteristics on Acceleration Lanes," TRR Vol 21A.
18. J. R. McLean(1989), "Two-Lane Highway Traffic Operations-Theory and Practice," Gordon & Breach Science Publishers.
19. A.D.St. John and D.W.Harwood(1991), "Safety Considerations for Truck Climbing Lanes on Rural Highways," TRR 1303, TRB.