

입체교차로 Loop Ramp 접속부의 적정 설계속도 결정

Determination of Normal Design Speed at Inter-Change Loop ramp in a Highway

최석근¹⁾ · 이선규²⁾ · 박명진³⁾ · 이재기⁴⁾

Choi, Seok-Keun · Lee, Seon-Gyu · Lee, Jae-Kee · Park, Myung-Jin

¹⁾ 충북대학교 공과대학 토목공학과 부교수(E-mail : skchoi@chungbuk.ac.kr)

²⁾ 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail : seongyu30@nate.com)

³⁾ 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail : pmj2817@nate.com)

⁴⁾ 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : jklee@chungbuk.ac.kr)

요 지

고속국도 및 일반국도 인터체인지부의 설계속도를 분석하기 위하여 현재 적용되고 있는 국내의 설계 기준 즉, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 및 도로설계편람, 도로설계요령, 도로설계기준, 국도설계기준을 검토하고, 국외의 설계기준을 참고하여 국내기준과 비교 검토하였다.

고속도로 교통사고 통계(2006)를 통하여 사고 다발지점을 선정, 원인을 분석하고 램프 유형별, 허용속도별 전국의 입체교차로를 대상으로 주행속도를 계측하였으며, 그 결과로부터 입체교차로의 Loop Ramp 접속부의 적정 설계속도를 제안하였다.

1. 서 론

최근 정부는 Value Creator-10이라는 건설교통 R&D 혁신 로드맵을 발표하면서 도로분야에서는 [Safe Sustainable Smart Highway]를 전략 프로그램으로 선정하는 등 고품격의 도로건설로 우리나라의 자동차 성능 향상에 맞는 수요자 욕구를 만족하기 위한 노력은 계속되고 있다.

도로 본선의 선형은 7.31km의 서해대교, 최고교각인 92m의 황성대교, 최장터널인 4.6km의 죽령터널 등으로 고규격화가 이루어지고 있으나, 교통사고가 많이 일어나는 입체교차로는 용지비용의 과다 등으로 직결이나 준직결보다는 Loop Ramp를 적용하여 사업비 감소를 감안한 형식을 적용하는 실정이다.

Loop Ramp는 고속 주행하던 차량이 갑자기 작은 곡선반경의 Ramp로 진출할 따라 급격한 속도의 변화와 방향의 전환으로 교통사고가 많이 발생하며, 교통용량이 급격하게 저하되는 특성을 가지고 있다.

본 연구는 도로설계기준의 가장기본이 되는 '도로의 구조·시설기준에 관한 규칙'을 검토하여 인터체인지 Nose부의 설계기준을 분석하고, 도로설계편람(건교부), 도로설계요령(한국도로공사), 도로설계기준(한국도로교통협회), 국도 설계기준(건교부) 등의 국내 도로설계 기준과 외국의 기준을 분석하였다. 국내 고속도로 인터체인지부의 설계속도에 연구는 거의 없는 실정이며, 2현시 입체교차로 설계기법 개발 및 평과에 대한 연구와 지방도 위험도로 선정기준, VMS의 시인성 향상을 위한 시인성 성능평가 항목 및 평가기준 설정과 물리적 평가시스템 구축에 대한 연구가 이루어진 실정이다.⁷⁻⁹⁾

또한, 고속도로 사고다발지점 개선사례 B/C에 대한연구가 교통안전시설을 중심으로 이루어졌고, 차두 시간분포 분석을 통한 고속도로 설계용량 산정모형의 개발에 대한 연구가 이루어진 실정이다.¹⁰⁻¹¹⁾

따라서, 본 연구에서는 고속국도 및 국도 등에서 교통사고가 가장 많이 발생하고 있는 입체교차시설인 인터체인지 분기점의 기존 설계기준에 대한 문제점을 분석하여 적합한 설계속도를 제안하고자 한다. 이 결과 교통사고를 미연에 방지하고 안전하고 쾌적한 도로조건 확보 및 교통용량의 극대화 등 도로기능을 확충할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 국내외 연결로 접속부 설계 기준

2.1 유출입 연결로 접속부

연결로 접속부(terminal)란 연결로가 본선과 접속하는 부분을 말하며, 교통의 상충(합류, 분류, 교차) 및 속도의 변화(감속, 가속)가 심하게 이루어지는 지역으로 교통의 안전과 효율적 교통운행을 위해 산형의 조화, 시인성, 투시성이 확보되도록 하여야 한다. 우리나라의 도로 설계기준은 가장기본이 되는

「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙해설 및 지침(대한토목학회 2000)」, 「도로 설계 편람 II(건설교통부 2000)」, 「도로설계요령 제1권 (한국도로공사)」, 「도로 설계기준(한국도로교통협회)」 등에서 분기점 연결로 접속부(Nose)의 설계기준은 공통으로 제시하고 있다.

유출 연결로의 접속부는 본선을 통행하는 운전자가 적어도 500m 전방에서 변이구간 시작점을 인식할 수 있도록 하고, 감속차로의 진로와 본선의 진로를 명확히 구별하여 통과하는 자동차가 연결로를 본선으로 오인하여 진입하지 않도록 하고, 유출하려는 자동차가 자연스러운 궤적으로 유출할 수 있는 유출각(1/15~1/25 정도)으로 설계한다.

유입 연결로의 접속부 설계시에는 유출 연결로 설계시의 주의점들에 유의하고, 추가적으로 유입부에서의 합류각을 작게 하여 운전자가 자연스러운 궤적으로 본선에 진입할 수 있도록 해야 하며, 본선 또는 유입 연결로의 교통량이 많을 때는 가속차로의 길이를 길게 하고 있다. 본선과 연결로 상호의 투시를 좋게 하기 위하여 합류단의 직전에, 본선상에서는 100m, 연결로상에서는 60m 정도 상호 투시가 가능하도록 장애물을 제거한다.

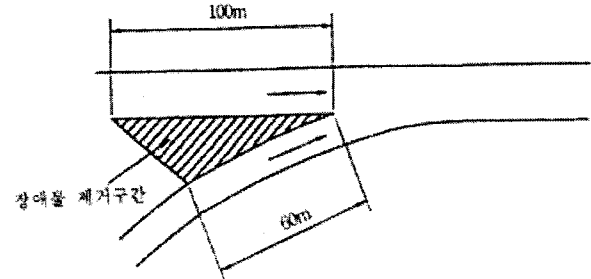


그림 1. 유입 연결로 접속부의 시계 확보

유출 연결로의 노즈 부근에 사용되는 클로소이드의 피라미터는 본선의 설계속도에 따라 본선에서의 규정치보다 조금 더 크게 각각 표 1의 값 이상으로 하고, 노즈부의 연결로 종단곡선 변화비율과 종단곡선의 길이는 본선의 설계속도에 따라 각각 표 2의 값 이상으로 하고 있다.

표 1. 유출로 노즈부의 클로소이드 최소 피라미터

표 2. 유출 연결로 노즈 부근의 종단곡선

본선설계속도(km/h)	120	110	100	90	80	70	60
계 산 값(m)	66.7	61.1	55.6	50.0	44.4	38.9	33.3
본선 최소 규정값(m)	70	65	55	50	45	40	35
연결로 최소 규정값(m)	90	80	70	65	60	55	50

본선 설계속도(km/h)	120	110	100	90	80	70	60	50이하	
최소 종단곡선 변화비율(m/%)	볼록형	20	18	15	13	10	8	5	4
	오목형	20	17	15	14	12	10	7	5
최소 종단곡선 길이(m)	50	48	45	43	40	38	35	30	

2.2 국외의 연결로 접속부 설계기준

국외 설계기준은 「AASHTO」 및 독일연방의 도로설계지침 RAS-K-2-B에서 연결로 접속부 설계속도에 관한 언급이 없었으며, 일본도로협회의 도로 구조령의 해설 및 운용에서 국내와 같은 최소평면곡선반경, 최소클로소이드 파라미터, 종단곡선 변화비율, Nose부 설계속도의 기준이 제시 되어 있다.

국내·외의 유출연결로 Nose부 설계기준을 비교하면 표 4와 같다. 미국이나 독일의 경우는 특별한 기준이 제시 되어있지 않으며, 일본의 경우는 국내 기준과 동일하게 규정되어 있다. 일본의 규정은 설계속도 20km/hr의 간격으로 규정되어 있으나 국내 기준은 10km/hr간격으로 세분화되어 있다는 것 외에는 모두 일치하고 있다.

표 3. 국내의 노즈부 설계기준

구 분	본선설계속도(km/hr)	국내	일본
Nose부 통과속도 (km/hr)	120	60	60
	110	58	
	100	55	55
	90	53	
	80	50	50
	70	45	
	60	40	40

3. 사고원인 및 문제점 분석

3.1 사고기록 조사

완전 입체교차로는 주로 고속도로와 국도 및 도시내 도로에 위치하나, 사고기록이 체계적으로 이루어진 것은 고속도로이다. 본 연구에서는 고속도로 교통사고 통계(2006. 5 한국도로공사)를 기준으로 고속도로에서의 교통사고 기록을 조사하였고, 사고 발생이 빈번한 중부내륙고속도로 상주IC의 교통(안전)사고 발생속보를 조사하였다. 고속도로 교통사고 통계를 기준으로 사고기록은 표 4와 같다.

또한, 중부내륙선은 2004년에 개통되어 기하구조와 표 4. 고속도로 교통사고 현황

도로조건이 양호하며 교통량이 많지 않음에도 불구하고, 노선별교통사고 기록상 8위이다. 인명피해 상황은 사망자 3위, 부상자 7위 등 대형사고의 문제점을 안고 있으며, 중부내륙선의 사고 원인에 따른 기록을 살펴 보면 표 6과 같다.

3.2 상주IC 사고 원인 분석

상주IC의 상행선(김천→상주)램프는 2001년에 사용하였으며, 충주~상주구간이 2004년에 개통되어 전구간 개통 전까지는 교통량이 극히 미미하였으나, 표 5에서 보듯이 교통사고는 분기점(Nose부)에서 많이 발생하였다. 상주IC는 Nose부의 곡선반경은 가운치 230m보다 큰 250m로 적용되어 있으나, 곡선반경 87m의 작은 곡선이 배향으로 접속하고 있으며, 현재의 설계기준인 Nose부 설계속도58km/hr를 상회하는 주행속도 68.3km/hr로 대부분의 차량이 과속주행을 하고 있다.

표 5. 중부내륙고속도로 사고 현황

구분	단위	2003년	2004년	2005년	
연장	km	2659.5	2804.5	2849.5	
교통량	대/일	47026	45182	45371	
총주행거리	1억/km	510.78	516.31	521.95	
교통사고	사고발생	건	3585	3242	2880
	사망자	명	348	300	249
	부상자	명	1843	1555	1170
	사고율	1억/Km	7.0	6.3	5.5
	사망율	1억/Km	0.68	0.58	0.48
	치사율	사망건	9.7	9.3	8.6

구분	사고발생	사망자	부상자	비고
총계	182	23	67	
운전자 과실	소계	150	20	63
	졸음	53	4	23
	과속	44	9	10
	주시태만	31	6	22
	안전거리	4	1	4
	핸들조작	13	0	4
	기타	5	0	0
차량 결함	소계	30	2	4
	타이어파손	17	2	4
	제동장치	1	0	0
기타	12	0	0	

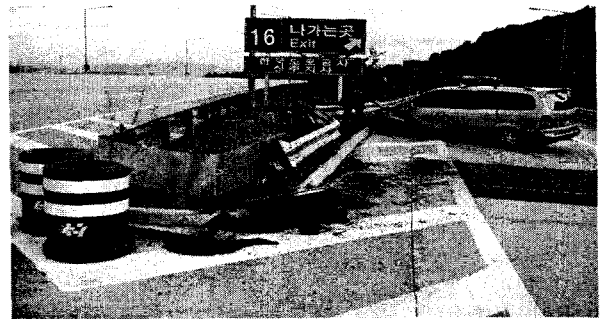


그림 2. 사고 현장 사진

주행속도를 고려하면 정지시거 또한 부족한 상황으로 추돌사고의 가능성을 늘 내포하고 있는 실정이다. 과속방지를 위한 안전시설(과속방지 카메라, 미끄럼 방지 포장, 갈매기 표시, 경고표시등)은 과다할 정도로 충분히 설치하였으나 감속차량은 거의 없었다.

따라서 Nose부의 사고 발생원인은 설계속도보다 상회하는 주행속도 때문으로 측정지점의 기하구조와 측정속도를 가지고 원인분석하기위해 최소평면곡선 반경의 산출식으로 부터 설치된 곡선반경과 편경사에 의한 주행가능 안전속도를 산출하였다.

이를 측정속도와 비교하면 표 6과 같다. 주행가능 안전속도이상으로 주행하는 상주IC의 경우(직결 및 준직결) 사고가 발생하며, Loop Ramp의 경우 또한 사고의 위험을 늘 내포하고 있다. 따라서 Nose부의 설계속도를 상향조정하여 곡선반경, 편경사 등의 기하구조를 조정해야 하는 것으로 분석되었다.

위치	설계속도		Nos e적용 R(m)	주행가능 속도	실측속도(건조)			i / s	램프 형식
	본선	Ra mp			산술 평균	설계속도이하 제외	K85 %		
상주(상)	110	40	250	71.3	69.5	70.3	78	0.13 / 0.03	준직결
상주(하)		50	250	70.2	68.3	68.9	75	0.13 / 0.025	직결

표 6. Nose부 주행가능속도와 실측속도 비교

3.3 주행속도 측정 및 적정 설계속도 결정

3.1 조사 지역

본 연구는 본선의 주행차량이 허용주행속도 유지가 가능한 지역으로서 허용주행속도가 110, 100, 80km/hr등으로 다양한 지역이고, 진출램프의 형식이 Loop로 이루어진 곳이며, 사고가 많은 지역, 자료취득이 용이한 최근 건설 개통한 고속국도 35호선 중부내륙고속도로 중 김천JCT부터 점촌·함창IC까지 중 트럼펫 형식을 적용한 IC를 연구대상지역으

표 7. 조사 대상지역의 형식

속도	노선명 (IC명)	IC형식	비고
110	중부내륙(상주)	트럼펫A	
	중부내륙(점촌)	트럼펫B	
100	경부선(김천JCT)	트럼펫A	
80	경부선(청원)	트럼펫B	지방도40
110	서해안(대천)	트럼펫B	

로 선정하였다. 김천-상주간과 상주-충주간은 개통시기가 다르고, 공용기간이 짧음에도 동 노선 중 IC사고 발생 5위를 기록하는 교통취약지점이며, 본선의 통행속도가 110km/hr 이상을 유지할 수 있다.

3.2 Nose부 주행속도 계측 결과

상주IC를 비롯한 전국 고속도로 및 국도 등의 노즈부의 운행속도 측정결과 의 26개 지점에 대해 계측을 실시하였고, 그 측정결과는 표 8과 같다.

상주IC의 계측 결과 상행선이 평균 주행속도 69.5km/hr(건조시)이고, 습윤시는 평균주행속도 68.6km/hr로 계측되었으며, 진출Ramp의 전경은 그림 3과 같다. 또한 하행선의 계측결과는 평균 주행속도 68.3km/hr (건조시)이며, 습윤시의 평균 주행속도 66.7km/hr로 계측되었다.

100	중부선(진천)	트럼펫B	
	중부내륙(충주)	트럼펫B	
	대구/포항(북영천)	트럼펫B	
	중앙(의성)	트럼펫B	
80	서해안(대전)	트럼펫B	국도36
	중부내륙(충주)	트럼펫B	국도3호선
	88고속(지리산)	트럼펫B	

표 8.

속도	측정지점(방향)	건조 (km/hr)	습윤 (km/hr)	대비 (%)	램프 형식
110 (km/hr)	상주IC (김천-상주)	69.5	68.6	98.7	준직결
	점촌IC (충주-점촌)	60.1	58.3	97.0	Loop
	대전IC (광주-대전)	51.1	50.4	98.6	Loop
	진천IC (청주-진천)	58.5	57.9	98.8	Loop
	충주IC (김천-충주)	59.1	58.0	98.1	Loop
100 (km/hr)	김천JCT(서울-상주)	53.8	52.5	97.6	Loop
	청원IC (대전-청원)	58.5	56.7	97.4	Loop
	북영천IC(포항-영천)	58.7	57.0	97.1	Loop
	의성IC (대구-의성)	59.3	58.7	99.0	Loop

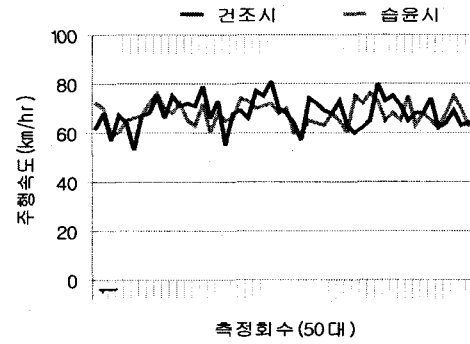
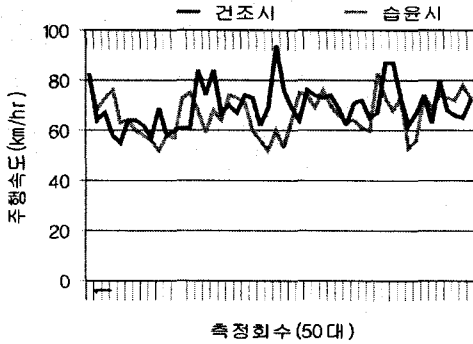
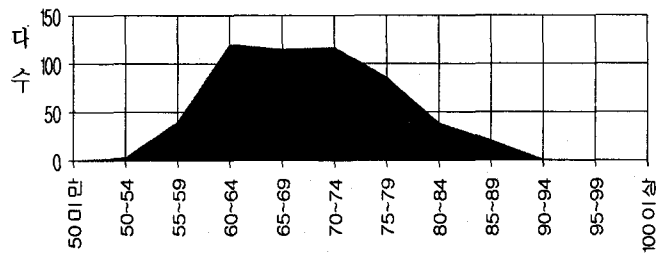


그림 3. 상주 I.C.의 노즈부 통과속도 측정결과(상하행선)

상주IC의 계측결과를 대상으로 상·하행선, 건조·습윤시의 모집단 표준 편차는 Table 4.8과 같다.

표 9. 모집단 표준편차

노선명	IC명	방향별	노면 상태	표준 편차	비고
고속국도 45호선 (중부내륙)	상주	상행선 (김천-상주)	건조	7.712	
			습윤	6.438	
		하행선 (충주-상주)	건조	6.767	
			습윤	7.574	



4. 결 론

입체교차로 중 유출Loop 연결로 접속부의 통행속도를 조사·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주행 중인 차량의 속도를 DGPS측량을 통하여 계측할 수 있었으며, 그 정밀도는 도로교통에서 사용하는 Speed Meter와 평균 0.19Km/hr의 속도 오차로 나타나 그 정확성을 확인할 수 있었다.
2. 유출Loop Ramp Nose부의 주행속도는 현재 설계기준보다 상당히 높은 주행속도로 통과하고 있기 때문에 Nose부의 설계속도는 (본선설계속도 * λ)로 제안하였다.
3. 본 연구에서 제안한 설계속도를 현장에 적용하여 분석한 결과 고속도로 유출 Loop Ramp Nose부의 차량 통과속도가 본 연구에서 제안한 제안식의 설계속도 이하로서 제안식이 적정함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. AASHTO, 1996, Roadside Design Guide, pp. 119~352.
2. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1990, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington D.C. pp. 398~531.
3. 한국도로공사, 2001, "도로설계요령 제1권", pp. 477 ~ 485.