

입체교차로 유·출입 접속부의 적정 설계속도 결정 Determination of Nomal Design Speed for Inter-Chang Ramp in a Free Way

이선규¹⁾ · 이강일²⁾ · 이재영³⁾ · 최석근⁴⁾

Lee, Seon-Gyu · Lee, Gang-Il · Lee, Jae-Yong · Choi, Seok-Keun

¹⁾ 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail : seongyu30@nate.com)

²⁾ 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail: gangil0@hanmail.net)

³⁾ 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail: jylee@sngis.com)

⁴⁾ 충북대학교 공과대학 토목공학과 부교수(E-mail: skchoi@chungbuk.ac.kr)

요 지

현재의 고속국도 인터체인지는 직선구간에서 곡선구간으로의 급격한 유출 및 속도저하 등으로 인하여 교통사고의 원인이 되며, 속도저하로 인하여 본선의 교통 체증에도 많은 영향을 미친다. 따라서 본 연구는 인터체인지의 사고 발생현황, 원인분석 등을 통해 분기점의 적정설계속도를 제안함으로써 사고의 최소화와 안전하고 쾌적한 도로조건 확보 및 교통용량의 극대화 등 도로기능을 확충할 수 있도록 하였다.

1. 서 론

최근 정부는 제4차 국토종합계획을 수정 보완하는 등 국토의 균형발전에 많은 노력을 경주하고 있다. 또한 도로정비기본계획에서 격자망(7X9)의 도로건설을 계획하는 등 국가기간산업의 확충으로 물류비절감을 통한 국가경쟁력 확보 노력에 심혈을 기울이고 있다.

그러나, 기존 도로의 교통사고발생은 OECD국가 중 인구 10만명당 사망자 14.9명으로 29개국 중 최하위권인 25위로 머물러있는 실정이다. 또한 공공교통시설개발 사업에 관한 투자평가지침(2002. 건교부)에 의하면 사망 1인당 3.1억원, 부상 1인당 0.2억원 등으로 비용을 산정하였을 때 직접적으로 막대한 경제적 손실을 가져오고 있다. 또한, 2001년 도로교통 사고비용의 추계와 평가에서 나타나듯이 교통사고로 인한 사회적 비용이 연간 8조 2,361억원에 달하고 있으며, 이는 동년 국가 예산의 8.8%에 달하고 있다.

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. 도로 분기점 설계

2.1 국내외 설계기준

국내 도로의 설계기준은 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙해설 및 지침(대한토목학회 2000)」, 「도로 설계 편람 II(건설교통부 2000)」, 「도로설계요령 제1권 (한국도로공사)」, 「도로 설계기준(한국도로교통협회)」 등의 자료를 분석한 결과 유출연결로의 분기점에 대하여 공통으로 설계기준을 제시하였다. 고속도로에서 최소평면곡선반경($i=2\%$, $f=0.1$ 적용)은 유출 분기점에서 유출자동차의 평균속도가 연결로의 설계속도보다 상당히 큰 것으로 표 1~2와 같이 나타났다.

표 1. 도로 분기점의 통과 설계속도

본선설계속도(km/hr)	분기점통과속도(km/hr)	최小平면곡선반경(km/hr)	클로소이드최소규정(m)	감속도(m/sec ²)
120	60	250	90	1.0
110	58	230	80	1.0
100	55	200	70	1.0
90	53	185	65	1.0
80	50	170	60	1.0
70	45	140	55	1.0
60	40	110	50	1.0

표 2. 종단곡선 설계속도

본선설계속도(km/hr)	120	110	100	90	80	70	60
종단곡선 변화							
비율(m/%)	凹	20	17	15	14	12	10
	凸	20	18	15	13	10	8
최소종단곡선장(m)	50	48	45	43	40	38	35

국외의 설계기준은 「AASHTO (1994)」에서 연결로 접속부 설계시 주의사항으로 시계의 제한을 피하기 위해 평면곡선과 연계하여 설계하도록 되어있고, 상향경사구간은 전방, 측면, 통과도로의 후면에서 시계확보를 위해 통과차선 종단에 평행하도록 되어있다. 유출연결로의 접속부는 시인성의 경우 진입로에서 시거는 적어도 정지시거만큼 커야 하고, 출구선단과 삼각지대 밖의 진입차로 구간을 포함한 전체 출구 터미널에 장애가 없도록 하며, 삼각지대(gore)는 길어깨 교차지점으로부터 하류 지역으로, 진입하는 운전자들이 명확하게 볼 수 있는 결정적인 지역의 속도에 맞는 기하학적 구조를 갖추어야 한다.

유입연결로 접속부는 시계의 제한을 없애기 위해 평면곡선과 연계하여 설계되어야 하고, 종단면은 진입선단 또는 통합끝단의 진입로 측면에 플랫폼을 갖도록 설계하며, 플랫폼은 약 60m 이상 본선의 종단과 같게 한다. 곡선상의 유출입 연결로 접속부는 설계속도 100km/hr의 경우 유출입연결로 접속부의 본선의 곡선반경이 충분히 커야하고, 평행식의 설계는 본선과 동일한 곡률로 이루어 지도록 하며, 직접식 설계는 본선과 동일한 비율로 감소하도록 하고 있다.

3. 도로 분기점 통행속도 조사

3.1 통행속도조사 지점 선정

본 연구는 고속국도 35호선 중부내륙고속도로 상주IC지점으로 김천-상주간은 2001.12.4일에 개통되고 상주-충주간은 2004.12.15일에 개통되었음에도 사고 발생 5위를 기록하는 등 교통취약지점이며, 본선의 통행속도가 110km/hr 이상을 유지할 수 있으므로 계측대상으로 선정하였다. 또한 최근 건설되어 설계도서의 전산화 및 자료의 체계화로 연구에 적절하다고 판단하여 선정하였으며, 발생현황은 표 3과 같다.

표 3. 고속국도 교통사고 발생현황

노 선 명	IC 명	형 식	사고발생회수	비 고
제35호선 (중부내륙)	내서JCT	변형클로바	17	1위
	칠서	트럼펫	16	2위
	창녕	트럼펫	13	3위
	영산	트럼펫	11	4위
	상주	트럼펫	9	5위

따라서, 분기점의 통행속도를 계측하기위해 Ramp형식, 본선 및 Ramp의 설계속도 등을 고려하여 조사

대상 지역을 표 4와 같이 선정하였다.

표 4. 연구대상지역 현황

노선명	교차지점명 (형식)	허용주행속도 (km/hr)	진출램프 형식	선정사유	비 고
고속국도 45호선 (중부내륙)	상주 IC (트럼펫A형)	110	준직결	사고다발지역	
	점촌합창 IC (트럼펫A형)	110	Loop 준직결	허용주행속도 진출램프형식	
	김천 JCT	100	Loop 준직결	허용주행속도 진출램프형식	
	북상주 IC (트럼펫A형)	80	준직결	허용주행속도 진출램프형식	국도접속부 (3호선)
고속국도 1호선 (경부선)	청원 IC (트럼펫A형)	80	Loop 준직결	허용주행속도 진출램프형식	지방도접속부 (40호선)

3.2 통행속도조사 및 결과

본 연구에 이용된 자동차의 속도계측기기는 Speed Meter(Speedar SR1, 영국)를 이용하였고, 관측일시는 교통량의 변화가 없는 주중에 실시하였으며, 날씨는 건조시와 습윤시로 분류하여 운전자가 계측을 감지하지 못하도록 차량 안에서 계측하였다.

통행속도조사는 상주 IC(110km/hr, 준직결 Ramp, 사고다발)의 경우 3일 간에 걸쳐 조사하였고, 김천-상주방향은 진출램프 전방 500m에 가속감지 카메라가 설치되어 있어 과속의 우려 없이 전체 차량이 허용주행 속도로 주행하고 있으며, 사고 다발로 미끄럼 방지 포장(유색)등으로 감속을 유도해 놓은 상황이다. 특기사항으로는 GPS 장착차량은 속도측정 시 속도를 급격히 감속하는 경향을 나타냈고, 차량군으로 주행하는 차량들은 선행차량의 속도에 좌우되므로 선행차량만 속도 측정하였다.

계측 결과는 표 5와 같고, 관측지점의 전경 및 결과는 그림 1과 같다.

표 5. 관측지점의 통과 측정속도

속도별 (km/hr)	측정지점	건조시 (km/hr)	습윤시 (km/hr)	대 비 (%)	평 균 (%)	램프 형식
110	상주IC(김천-상주)	69.5	68.6	98.7	97.8	준직결
	상주IC(충주-상주)	68.3	66.7	97.7		준직결
	점촌합창IC(김천-점촌)	77.7	76.5	98.5		준직결
	점촌합창IC(충주-점촌)	60.6	58.3	96.2		Loop
100	김천JCT(서울-상주)	53.8	52.5	97.5	98.2	Loop
	김천JCT(부산-상주)	83.9	82.9	98.9		준직결
80	북상주IC(상주-고속)	77.5	76.8	99.1	99.0	준직결
	북상주IC(합창-고속)	75.3	74.4	98.8		Loop
	청원IC(척산-고속)	57.4	57.0	99.3		준직결
	청원IC(부강-고속)	51.4	50.8	98.9		Loop

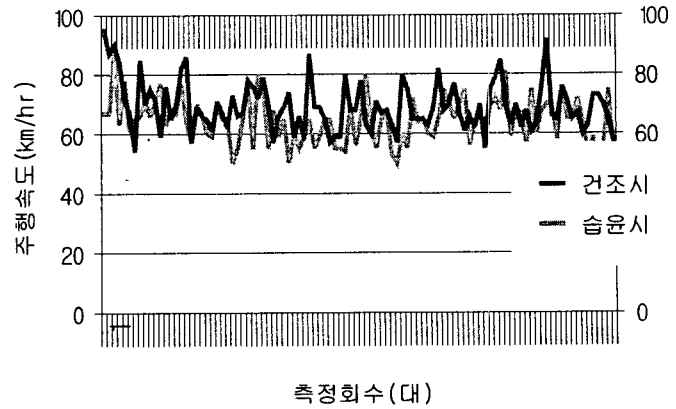
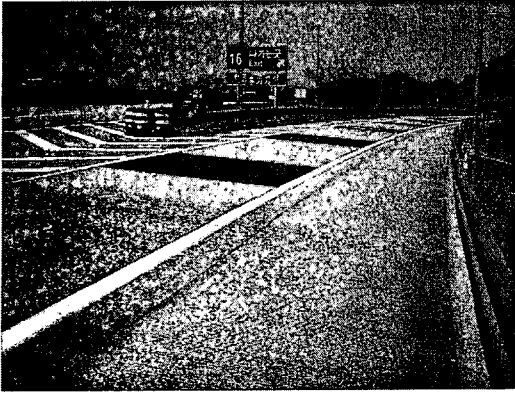


그림 1. 상주 IC (김천→상주) Nose부 전경 및 관측 결과

4. 적정 설계속도의 산정

4.1 설계속도 적용 및 분석

도로 구조형식에 따른 설계속도는 검토방향은 Ramp의 형식에 따른 설계속도와, 본선 및 Ramp의 설계속도에 따라 설계속도, 노면상태에 따른 설계속도, 진출과 진입에 따라 설계속도 등을 재 규정하여 검토하였다. 또한, 곡선의 경우 조합 설계는 곡선과 곡선의 조합(배향, 복합 등)과 평면선형 설계방침에 따라 Lamp를 설계하여야 한다. 유출 분기점의 설계속도는 준직결과 Loop에 대하여 각각 분석하였으며, 그 결과는 표 6과 같이 분석되었다.

표 6. 속도측정 결과 비교표

노면상태 : 건조시

구 분	본선설계속도 (km/hr)	램프설계속도 (km/hr)	준 직 결			Loop			
			기준속도 (km/hr)	실측속도 (km/hr)	대 비 (%)	기준속도 (km/hr)	실측속도 (km/hr)	대 비 (%)	
상주 IC	김천→상주	110	40	58	69.5	119.8			
	충주→상주	110	50	58	68.3	117.8			
점촌·함창 IC	110	50, 40	58	77.7	134.0	58	60.6	104.5	
김천 JCT	100	60, 40	55	83.9	152.5	55	53.8	97.8	
북상주 IC	상주→고속	80	40	50	77.5	155.0			
	함창→고속	80	40	50	75.3	150.6			
청원 IC	80	50, 40	50	57.4	114.8	50	51.4	102.8	

Ramp의 형식에 따른 설계속도 분석은 준직결의 경우 Nose부 통과속도가 설계속도를 초과하나, Loop의 경우는 설계속도에 근접함을 나타내고 있고, Loop 등과 같이 기하구조가 불량할 경우 용량은 감소하며, 주행속도는 급격히 감소하는 경향을 나타냈다.

본선 및 Ramp의 설계속도에 따른 설계속도는 준직결의 경우 본선속도가 낮아질수록 Nose부 통과 속도는 허용속도를 많이 초과하는 경향을 나타냈고, 교차로 및 교통통제 시설이 근접할 경우 통과 속도는 낮게 나타났으며, 램프의 허용속도와 무관하게 분기점 통과속도는 같게 나타났으므로 램프허용속도가 낮은 경우 사고가 빈발하였다. 노면 상태에 따른 분기점 설계속도는 건조, 습윤 등에 따라 건조 시에 비해 표 7과 같이 떨어지는 경향을 나타냈다.

표 7. 노면 상태에 따른 분기점 주행측정 속도

속도별(km/hr)	측정지점	건조시	습윤시	대 비(%)	평균(%)	램프형식
110	상주IC(김천-상주)	69.5	68.6	98.7	97.8	준직결
	상주IC(충주-상주)	68.3	66.7	97.7		준직결
	점촌합창IC(김천-점촌)	77.7	76.5	98.5		준직결
	점촌합창IC(충주-점촌)	60.6	58.3	96.2		Loop
100	김천JCT(서울-상주)	53.8	52.5	97.5	98.2	Loop
	김천JCT(부산-상주)	83.9	82.9	98.9		준직결
80	북상주IC(상주-고속)	77.5	76.8	99.1	99.0	준직결
	북상주IC(합창-고속)	75.3	74.4	98.8		Loop
	청원IC(척산-고속)	57.4	57.0	99.3		준직결
	청원IC(부강-고속)	51.4	50.8	98.9		Loop

도로교통법 시행규칙 제12조에 자동차 등의 속도는 비, 바람, 안개 눈 등으로 비로인해 노면에 습기가 있을 때와 눈이 20mm 미만 쌓인 때는 최고속도의 100분의 20을 감속하도록 되어있고, 폭우, 폭설, 안개 등으로 가시거리 100m 이내인 때와 눈이 20mm 이상 쌓인 때는 최고속도의 100분의 50을 감속하도록 되어 있으나, 도로교통법 상의 감속 규정이 지켜지지 않고 있는 것으로 나타났다.

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙에서 정지시거를 산정하기 위한 속도는 주행속도이며, 노면 습윤 상태일 때의 주행속도는 설계속도 120~80km/hr 경우 설계속도의 85%, 설계속도 70~40km/hr 경우 설계속도의 90%, 설계속도 30km/hr 이하의 경우 설계속도의 100%이나 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(2003.7.31 개정)에 의한 우천 시 감속기준과 불일치한 것으로 나타났다.

4.2 유출 분기점의 적정 설계속도 분석

유출 분기점의 적정 설계속도 산정은 준직결 Ramp와 Loop Ramp에 대하여 도로 본선의 설계속도, 유입속도, 측정속도 등으로 그림 2와 같이 각각 분석하였다.

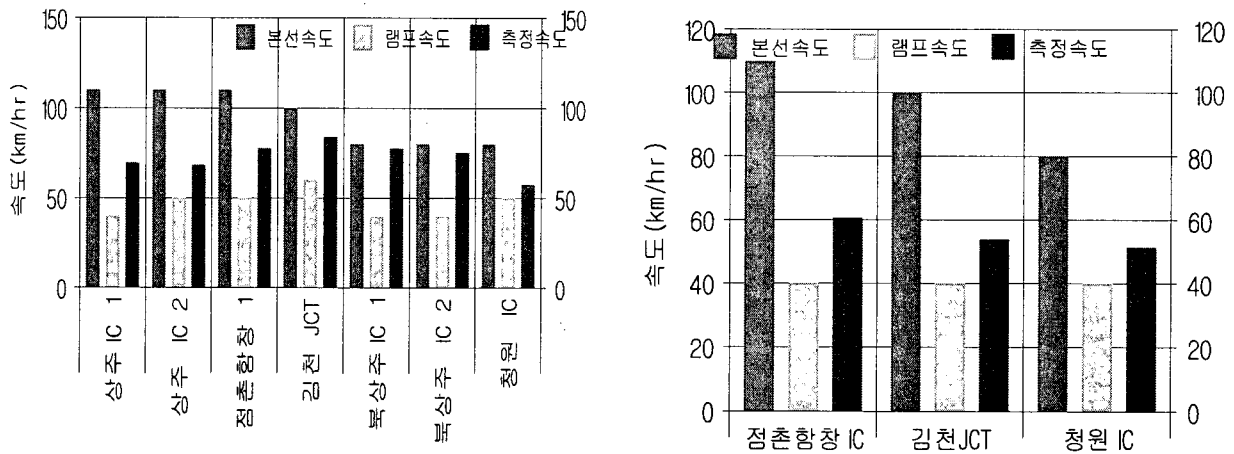


그림 2. 준직결 및 Loop Ramp의 관측지점별 설계속도 산정

이와 같이 분석한 결과 Ramp로 진입하는 차량의 속도는 본선속도와 Ramp 속도의 평균치에 가깝게 측정치가 있었으며, 북상주IC의 경우는 기하구조가 양호하여 운전자가 감속할 필요를 느끼지 못하는 특별한 경우라고 판단된다.

Loop Ramp의 경우는 Ramp속도의 1.5배 위치에 측정치가 있었으며, 그림 3과 같이 청원 IC 등 기하구조가 열악한 경우도 안전상 유리한 설계속도이므로 설계속도로써 적정한 것으로 나타났다.

4.3 유출 분기점의 적정 설계속도 제안

준직결 유출 Nose부 설계속도는 Ramp로 진입하는 차량의 속도는 본선속도와 Ramp 속도의 평균치

에 가깝게 측정치가 있었고, Loop Ramp 유출 분기점 설계속도는 Loop Ramp의 경우는 Ramp속도의 1.5배 위치에 측정치가 있었으므로 각각 식 1 및 2와 같이 제안하였다.

$$\text{Ramp 분기점의 설계속도} = (\text{본선설계속도} + \text{Ramp 설계속도}) / 2 \quad (1)$$

$$\text{Loop 분기점의 설계속도} = (\text{Ramp 설계속도}) \times 1.5 \quad (2)$$

위의 식을 이용하여 분기점과 Loop Ramp에 대하여 설계속도를 적용한 결과 표 8 및 9와 같은 결과값을 얻었다.

표 8. 본선 설계속도별 분기점 설계속도 제안(준직결 Ramp)

본선설계속도 (km/hr)	120			110			100			90			80			70			60		
Ramp설계속도 (km/hr)	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40	60	50	40
분기점설계속도 (km/hr)	90	85	80	85	80	75	80	75	70	75	70	65	70	65	60	65	60	55	60	55	50

표 9. Loop 설계속도별 분기점 설계속도 제안(Loop Ramp)

Loop 설계속도(km/hr)	60	50	40
분기점설계속도(km/hr)	90	75	60

5. 결 론

본 연구는 입체교차로 유출입 접속부의 통행속도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 입체교차로 유출부는 노면 상태에는 많은 영향을 받지 않았으나, Ramp 형식, 본선 및 Ramp의 설계 속도 등에 따라 차등적용이 필요하며, 적정설계속도 결정식을 제안하였다.
 - 준직결의 경우 : Nose부의 설계속도 = (본선설계속도 + Ramp 설계속도) / 2
 - Loop의 경우 : Nose부의 설계속도 = (Ramp 설계속도) X 1.5
- 입체교차로 유출시 적정 설계속도를 제안함으로써 교통사고를 최소화하고, 안전하고 쾌적한 도로조건 확보 및 교통용량의 극대화 등 도로기능을 확충할 수 있도록 하였다.

참 고 문 헌

- 대한토목학회, 2000, “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙”, pp. 429~433.
- 건설교통부, 2000, “도로 설계 편람 II”, pp. 307-52~75.
- 한국도로공사, 2001, “도로설계요령 제1권”, pp. 477 ~ 485.
- 한국도로교통협회, 2001, “도로 설계기준”, pp. 83 ~ 84.
- 건설교통부, 2002, “공공교통시설개발사업에 관한 투자평가지침”
- 장영채, 2002, “2001 도로교통 사고비용의 추계와 평가”
- 일본도로협회, 1993, “도로 구조령의 해설 및 운용”
- 미국,연방도로협회,1994,“ AASHTO”