

감속차로에서 운전행태분석을 통한 트럼펫형 인터체인지 적정 형태에 관한 연구

A Study on the Appropriate Type of Trumpet Interchanges Based on the Driving Behavior Analysis in Deceleration Lanes of Highway Interchanges

조완상* · 원제무** · 서정남***

Cho, Waun Sang · Won, Jai Mu · Seo, Jung Nam

1. 서 론

현재 우리나라 고속도로는 24개 노선 2,922km의 연장을 가지고 있으며 금년 말까지는 3,400km의 고속도로가 개통할 예정이다. 또한 2020년까지 동서를 9개축으로 남북을 7개축으로 6,160km의 고속도로를 격자형으로 구축하여, 전국 어디에서나 30분 이내에 고속도로 진입이 되도록 하여 전국을 만나질 생활권으로 계획하고 있다. 아울러 남북통일시대의 고속도로와 아시아 하이웨이망등과 연계하여 고속도로를 건설해 나가고 있다. 또한 고속도로의 건설과 더불어 자동차시대를 맞이한 이후 자동차 보유대수는 2004년말 1,493만대를 넘어서고 있으며, 자동차의 보급 확대에 따른 교통사고는 꾸준히 증가하여, 교통사고로 인하여 연간 9조2천억원(경찰청 통계연보, 2004년)에 해당하는 사회·경제적 손실이 유발되고 있다. 따라서 고속도로 시설의 설치 기준을 교통사고등의 안전측면에서 보다 많은 연구를 시행하여 고속도로 기능을 제고시켜야 할 시기가 되었다. 현재 고속도로 교통사고는 본선보다 출입시설 구간에서 교통사고 발생이 매우 높고, 특히 본선에서 인터체인지로 진출하는 연결로구간에서 교통사고 발생이 많으며, 고속도로 인터체인지의 대부분이 트럼펫형 인터체인지로 건설되어 있다. 트럼펫형 인터체인지 유형 계획시 A형(본선진출→직결연결로진출), B형(본선 진출→Loop연결로 진출)은 주변지형여건과 주방향 교통량 및 주교통의 운행거리 단축(감: 약180m)을 고려하여 A형과 B형을 혼재하여 계획하고 있다. 교통영향평가 및 선형 자문회의 등에서 일부 심의위원이 B형은 본선 차량이 Loop 연결로로 진출하기 때문에 교통사고가 많으므로 교통사고가 적은 A형으로 변경하라는 지적 사례가 있으나, 두 형식에 대한 특정한 교통안전 관련 기준이나 연구논문 등이 없어 A형과 B형이 혼재되어 설치되고 있는 실정에 있다. 본 연구에서는 전국 주요 고속도로 인터체인지의 유형별 운영 분석 및 트럼펫형 인터체인지에서 사고 조사 분석을 수행하고, 아울러 트럼펫형 인터체인지의 A형과 B형에 대한 감속차로에서 운전자 통행행태 분석을 통한 교통사고 요인 조사 분석을 통해 교통안전 측면에서 우수한 적정형 트럼펫형 인터체인지 형식을 제안하고자 한다.

2. 연구 과정

전국 인터체인지 운영 현황 및 사고 발생 현황과 관련 문헌들로부터 트럼펫형 인터체인지의 연구 당위성을 도출하고 트럼펫 인터체인지 형식별(A형, B형) 운영 현황 및 사고 발생 분석을 통한 사고 요인을 비교 분석하였으며, 마지막으로 A형과 B형의 유출부 연결로 감속차로에서의 운전자 감속특성에 대한 통계 비교 분석을 통해 트럼펫형 인터체인지의 적정 형식을 도출하였다.

* 정회원·(주)건화 부사장·도로및 공학 기술사·공학석사·02-5287-603 (E-mail : wscho57@nate.com)
** 정회원·한양대학교 도시대학원장·공학박사·02-2220-0278 (E-mail : drwon21@hanmail.net)
*** (주)건화 도로부 차장·공학석사·02-5287-671 (E-mail : jinseo@kunhwaeng.co.kr)

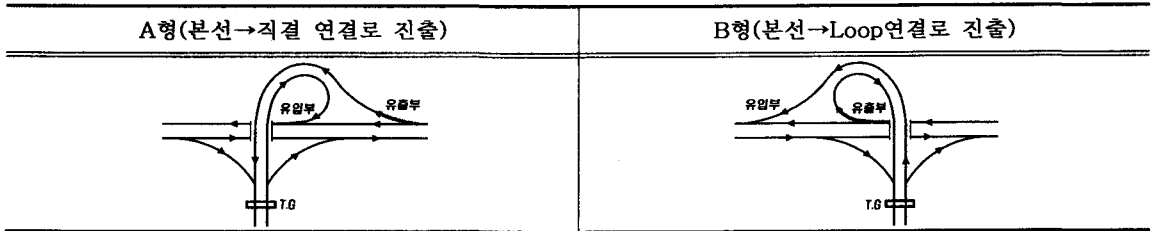


그림 1. 본선 유출부 형태에 의한 트럼펫형 인터체인지 형식 분류

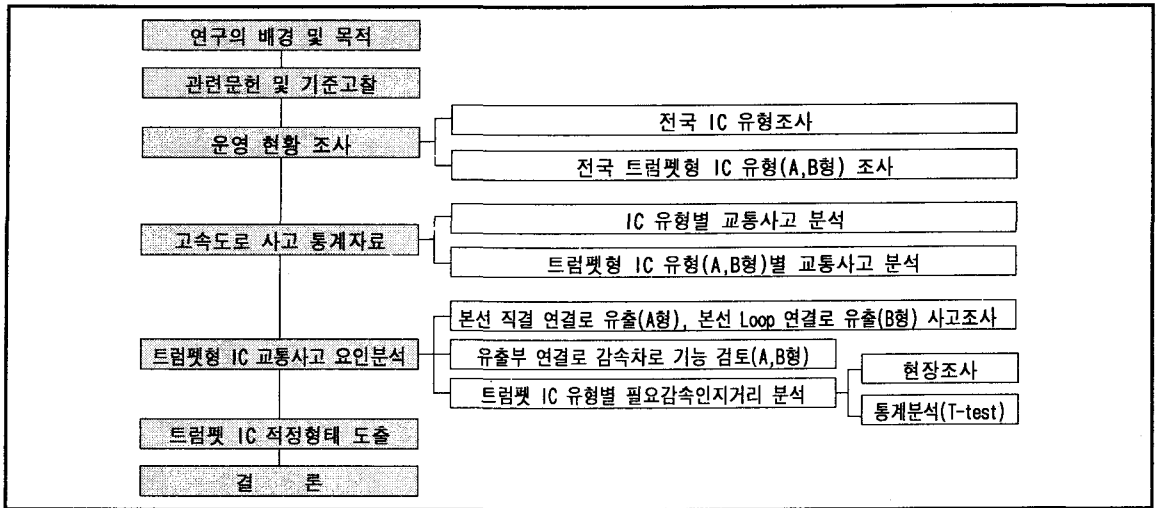


그림 2. 연구 과정

3. 자료 수집

본 연구의 목적에 부합되는 국내 트럼펫형 인터체인지 현장 사고 자료 수집은 객관성 확보를 위해 전국 고속도로 전체 노선의 모든 인터체인지를 대상으로 연구의 범위를 설정하였다.

(1) 전국 인터체인지 운영 현황 자료

2005년 말 기준 전국에서 운영되고 있는 고속도로 26개 노선의 인터체인지는 284개소를 대상으로 조사하였다.

(2) 연도별 고속도로 인터체인지 사고 조사 자료

자료 수집의 한계상 1989년~2005년 동안 17년간 축적된 고속도로 사고 자료를 수집하였다. 특히 트럼펫형 인터체인지 사고 조사 자료 분석시 적용된 주요 구분 항목은 다음과 같다.

표 1. 인터체인지 사고 조사 주요 항목

구 분	내 용
조사항목	인터체인지 사고 발생 건수 (1989년~2005년) 트럼펫형 인터체인지 유형별 사고 건수 (1989년~2005년) 유출부(본선→직결연결로 유출, 본선→Loop 연결로 유출) 사고 건수(2001년~2005년)

(3) 감속차로 주행 행태 자료

현장 조사 지점 선정시 고려사항으로는 고속도로 구간 중 운전자 통행에 영향을 주지 않는 교통류 상태



와 기하구조 및 주변 여건을 우선적으로 고려하였으며, 아래와 같이 승용차에 대해 감속위치를 조사하였다. 이는 감속에 대한 속도변화 및 운전자의 통행 특성이 화물차 보다는 승용차가 더 민감한 점과 설계 기준상 감속차로 길이 산정시 승용차를 대상으로 산정된 점을 고려한 것이다.

표 2. 현장 조사 지점 선정시 전제 조건

구분	내용
공간조건	· 전국 고속도로 트럼펫형 인터체인지 구간
교통류조건	· Free Flow 상태로 차량의 정체등 용량 감소로 인해 감속차로 통행자가 영향을 받지 않는 상태(LOS A)
환경조건	· 감속차로 구간에 정차된 차량등의 통행에 방해물이 없는 지점
지형조건	· 영상 촬영이 가능한 지형

조사지점	노선	표본수	실제속도(km/h)		비고
			본선	유출연결로	
발안IC	서해안고속도로	430	120	60	트럼펫A형
청북IC	평택~충주	326	100	60	
서평택IC	서해안고속도로	339	120	40	트럼펫B형
광명역IC	서해안고속도로	478	100	40	

표 4. 조사지점 기하구조 현황

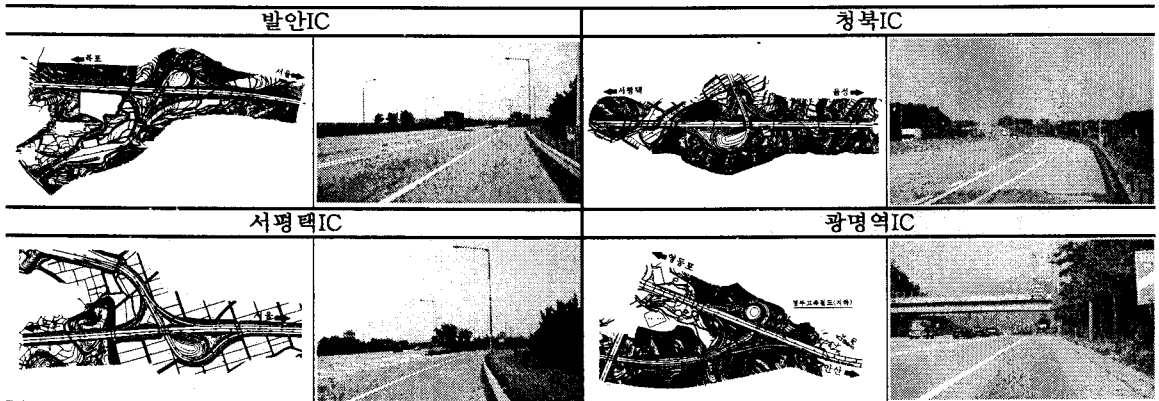


표 3. 현장 조사지점 현황

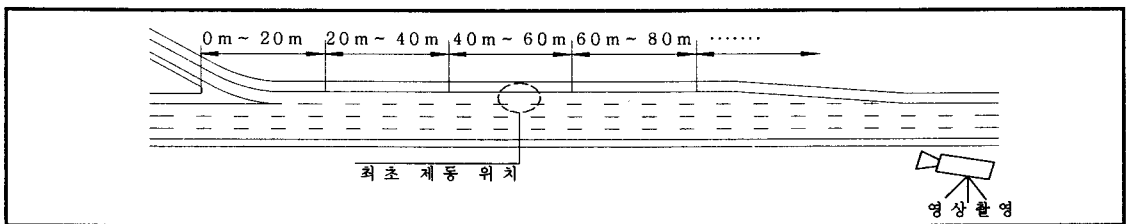


그림 3. 최초 제동 위치 조사



4. 트럼펫형 인터체인지 교통사고요인 분석

4.1 인터체인지 형식별 운영 현황

(1) 전국 고속도로 인터체인지 운영 현황(2005년 기준)

2005년 기준 전국 고속도로에서 분기점(Junction)을 제외한 공용중인 인터체인지(Interchange)를 대상으로 각각의 형식에 대해 한 결과, 총 284개소 중 대부분인 211개소(74%)가 트럼펫형으로 운영중이며, 나머지 형식중 대다수는 다이아몬드형(간이입체 교차로)이거나 일부 방향 통행이 불가능한 불완전 교차로인 것으로 조사되었다. 아울러, 향후 기존의 기타유형 인터체인지가 트럼펫형 인터체인지로 개량중인 것을 고려할 때 트럼펫형 인터체인지에 대한 관심과 개선은 고속도로 안전성 향상을 위한 중요한 사항이라 할 수 있다.

(2) 트럼펫형 인터체인지 형식별 운영 현황(2005년말 기준)

A형 트럼펫형 인터체인지가 115개소(55%), B형 트럼펫형 인터체인지 96개소(45%)로 운영 중이어서 상호간 큰 차이가 없는 것으로 조사되었으며, 이는 “도로의 구조·시설 기준”에서 제시된 바와 같이 안전적 측면에 대한 특별한 기준 없이 주요 지장물 및 연결로의 주방향 교통만을 고려하여 트럼펫형 인터체인지가 계획되고 있기 때문인 것으로 사료된다.

표 5. 인터체인지 운영 현황 및 트럼펫형 인터체인지 운영 현황

구분	인터체인지 운영 현황			트럼펫형 인터체인지 운영 현황		
	트럼펫형	기타유형	총계	A형	B형	총계
개소수	211개소	73개소	284개소	115개소	96개소	211개소
%	74%	26%	100%	55%	45%	100%

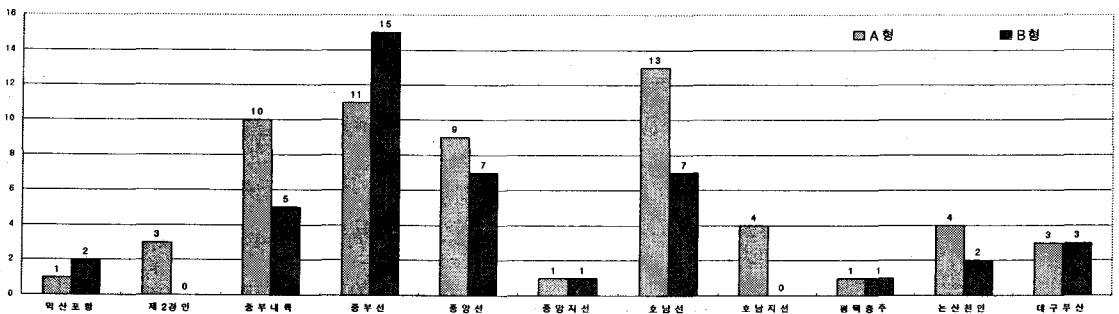
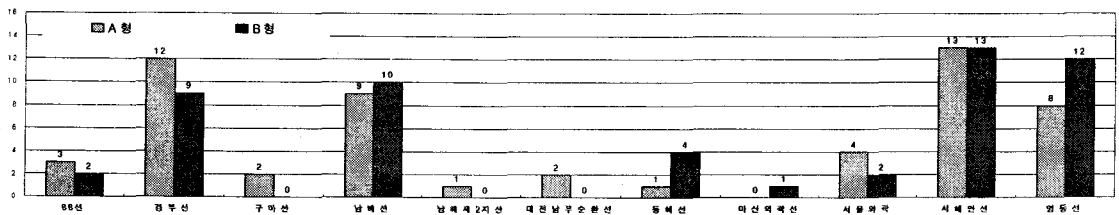


그림 4. 노선별 트럼펫형 인터체인지 운영 현황(2005년)



4.2 사고 발생 건수 비교 분석

(1) 인터체인지 유형별 사고 분석

과거 17년간(1989년~2005년) 조사된 인터체인지 유형별 사고발생 건수는 트럼펫형이 199개소에 1,840건으로 개소당 9.2건이며, 일부 평면 교차를 허용하는 기타유형은 42개소에 886건으로 개소당 21.1건인 것으로 조사되어 트럼펫형 인터체인지 대비 약 2.3배의 사고가 더 발생한 것으로 조사되었다.

표 6. 인터체인지유형별사고분석(1989년~2005년)

구 분	트럼펫형	기타유형	총계
사고발생건수	1,840	886	2,726
개소수	199	42	241
건수/개소수	9.2	21.1	11.3

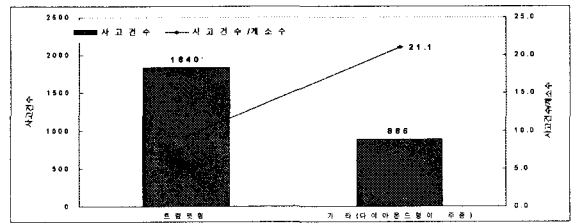


그림 5. 인터체인지 유형별 사고 분석(1989년~2005년)

(2) 트럼펫형 인터체인지 유형별(A형, B형) 교통사고 분석

과거 17년간 A형은 112개소에 974건의 사고가 발생하여 개소당 8.7건의 사고가 발생한 것으로 나타났으며, B형은 87개소에 866건으로 개소당 10.0건의 사고가 발생한 것으로 분석되었다. A형 대비 B형이 개소당 사고가 1.3건 발생률이 높은 것은 A형과 B형의 유출 형식 차이가 그 원인인 것으로 사료된다.

표 7. 트럼펫 인터체인지 유형별 사고 분석

구 분	A형	B형	총계
사고발생건수	974	866	1,840
개소수	112	87	199
건수/개소수	8.7	10.0	9.2

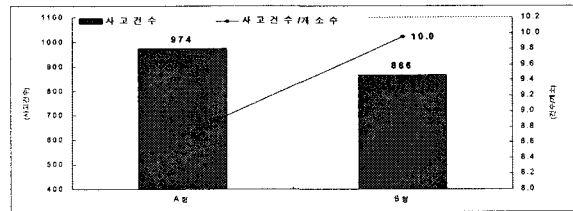


그림 6. 트럼펫 인터체인지 유형별 사고 분석

(3) A형과 B형 유출연결로 형식에 따른 교통사고 분석

과거 5년간 발생한 교통사고 건수는 A형의 직결유출연결로가 112개소에 84건으로 개소 당 약 0.8건인 것으로 분석되었으며, B형의 Loop 유출연결로는 87개소에 164건으로 개소 당 약 1.9건으로 A형 대비 약 2.4배가 높은 것으로 분석되었다. 이는 기존에 트럼펫형 인터체인지 계획시 교차로 이용 교통의 주방향을 고려하여 설계하고 있는 점을 제외할 때 적은 교통량에서도 높은 사고율을 보이는 B형의 Loop 연결로가 A형의 직결연결로 보다 교통안전적인 측면에서 확연히 불리한 것을 입증하고 있다. 또한, 고속도로 계획시 연결로 이용 교통량이 많은 주방향 연결로를 직결 연결로로 계획하고, 교통량이 적은 연결로를 Loop 연결로로 계획하므로, 연결로의 교통량을 고려할 경우에는 B형의 사고율은 2.4배 보다 훨씬 많을 것으로 예상된다.

표 8. 유출 연결로 유형별 사고 분석

구 분	A형(직결형)	B형(Loop형)	총계
사고 발생 건수	84	164	248
개소수	112	87	199
건수/개소수	0.8	1.9	1.2

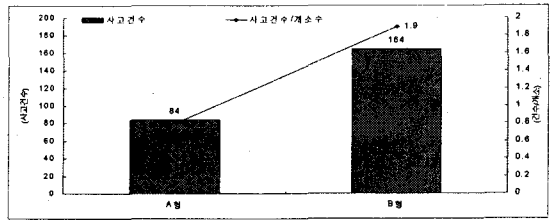


그림 7. 유출 연결로 유형별 사고 분석

5. 트럼펫형 인터체인지 적정 형태 도출

5.1 유형별 유출부 연결로 설계 요소 분석

(1) 설계 속도 비교

일반적으로 트럼펫형 인터체인지 연결로의 설계 속도는 직결형인 경우 60km/h~80km/h, Loop형인 경우 40km/h를 적용 할 수 있다. 도로의 기능 및 구분에 따라 본선 고속도로의 설계속도가 100km/h~120km/h 인 점을 제고할 때 본선 주행 후 감속 과정을 거쳐 연결로로 진입하는 차량이 감속해야 하는 속도 차이는 A형의 경우 40km/h이고, B형의 경우 60km/h~80km/h로 B형의 필요 감속 요구 속도가 1.5배~2.0배가량 더 큰 것으로 나타났다. 이는 A형의 경우 고속도로 고속도로 본선을 주행하는 차량이 상대적으로 설계속도의 변화가 적은(40km/h) 직결 연결로로 주행하기 때문에 설계 속도의 변화가 큰(60km/h~80km/h) B형의 Loop연결로 보다 운전자에게 제공하는 감속의 요구가 적어 안전하며, 이와는 대조적으로 B형은 운전자에게 요구되는 감속량이 많아 그만큼 안전성 측면에서 불리한 것을 알 수 있다.

표 9. 유형별 유출부 연결로 속도 변화 비교(km/h)

A형			B형		
본선	연결로	속도차	본선	연결로	속도차
100~120	60~80	40	100~120	40	60~80

(2) 현장 답사 결과

현재 운행 중인 고속도로의 트럼펫형 인터체인지 중 A형과 B형에서 연결로 진출을 하기 위해 감속 형태가 이루어지는 감속차로 구간에서 운전자들의 운전형태 분석을 위해 수도권 주변의 트럼펫형 인터체인지를 답사한 결과 A형과 B형의 주된 사고 요인은 유출차량이 감속차로 구간 본선에서 연결로로 유출하는 승용차와 소형화물차가 감속차로 진입후 최초 제동 시점인 브레이크 등이 커지는 위치가 거의 일치하므로, 이는 감속 차로에서 보이는 운전자 형태가 A형과 B형이 거의 동일하기 때문으로 파악되었다.

A형과 B형 인터체인지 중에서 감속차로를 통하는 차량의 속도감속을 영상 촬영하기 위해서는 제동시 브레이크등이 커지는 것이 보이는 지점에서 영상촬영을 해야 하므로, 촬영이 가능한 인터체인지 중에서 A형과 B형을 각각 2개소를 선정하여 4개소에서 영상촬영을 시행하였다.



5.2 운전자 감속차로 통행 행태 분석

(1) 감속 인지 필요 거리 통계 분석

표 10. 지점별 감속 인지 필요거리 조사 결과

구 분	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~	계	비고
발안IC	34	51	153	85	34	48	25	430	A형
청북IC	17	34	119	51	49	22	7	299	
서평택IC	18	27	126	62	43	45	18	339	B형
광명역IC	12	71	192	92	15	57	33	472	
총 계	81	183	590	290	141	172	83	1,540	-
비율(%)	5.2	11.8	38.3	18.8	9.2	11.2	5.5	100	-

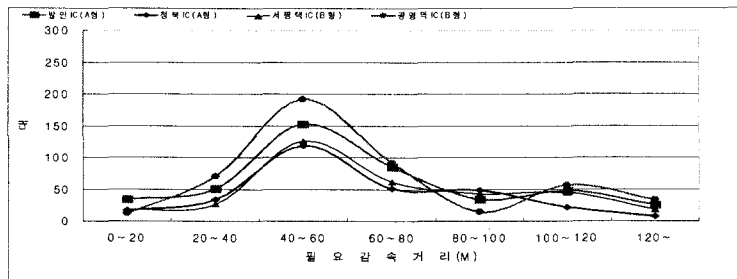


그림 8. 유출부 연결로 감속차로 길이 비교

트럼펫형 인터체인지의 형식에 관계 없이 감속차로 상에서 모두 동일한 행태를 보이는 것으로 분석되었으며, 이는 운전자가 트럼펫형 인터체인지 유출 연결로 진입 시 직결 연결로(A형)와 Loop연결로(B형)에 대한 사전 파악이 불가능하므로 이와 같은 행태를 보이는 것으로 사료된다.

따라서, B형의 경우 60km/h~80km/h, A형의 경우 40km/h의 감속량이 필요하나 감속구간에서 운전자들이 A형과 B형의 구분 없이 동일한 감속에 대한 행태가 나타남에 따라 상대적으로 교통 안전성 측면 고려시 트럼펫형 인터체인지 형식 중에서 B형이 교통사고측면에서 매우 불리한 것으로 나타남으로써 이에 대한 개선방안이 필요하다.

표 11. 지점별 감속인지 필요거리 통계 분석 결과

구 분	조사 지점	평균	관측수	T	Prob>T	결과
동일유형 A형 : A형 B형 : B형	발안	62.9	430	1.89	0.058	μ 발안= μ 청북
	청북	67.4	326			
	서평택	67.2	339	1.24	0.212	μ 서평택= μ 광명역
	광명역	64.6	478			
비동일유형 A형 : B형	발안	62.9	430	1.91	0.056	μ 발안= μ 서평택
	서평택	67.2	339			
	발안	62.9	430	0.79	0.429	μ 발안= μ 광명역
	광명역	64.6	478			
	청북	67.4	326	0.055	0.955	μ 청북= μ 서평택
	서평택	67.2	339			
	청북	67.4	326	1.23	0.217	μ 청북= μ 광명역
	광명역	64.6	478			

주1) 신뢰도 95%

주2) μ 1, μ 2 는 조사지점의 감속인지필요거리(m)

5.3 트럼펫형 인터체인지 B형 개선방안

표 12. 트럼펫형 인터체인지 B형 감속 유도표지 개선안

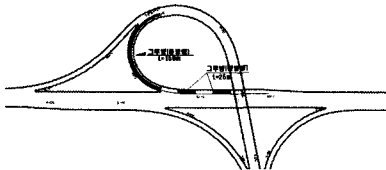
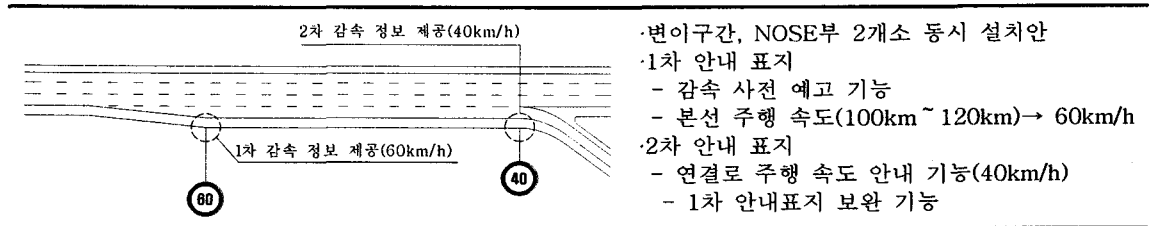


그림 9. 감속차로 미끄럼 방지시설 설치

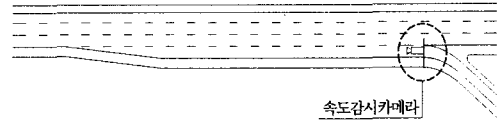


그림 10. 속도 감시카메라 예시도

6. 결론

유출부 연결로(A형 : 본선→직결연결로, B형 : 본선→루프연결로) 사고 현황 조사결과 B형이 1.9건/지점수, A형이 0.8건/지점수인 것으로 조사되어 B형(루프연결로)의 안전성이 결여되는 것으로 분석되었으며, 감속차로 설계 요소 검토 결과 A형의 경우 본선 대비 유출부 연결로 속도차가 40km/h이나, B형의 경우 유출부 연결로의 속도차가 60~80km/h으로 연결로 진입시 높은 속도 차이에도 불구하고 감속차로 길이 차이가 20m~25m에 불과해 운전자에게 제공되는 직결 유출 연결로(A형)와 램프유출 연결로(B형)의 감속차로 길이 차이가 미미하여 이에 대한 안전성 측면에서의 고려가 필요한 것으로 분석되었다.

또한 현장 조사를 통한 유출부 연결로(본선→직결연결로, 본선→루프연결로)인 감속차로 구간을 주행하는 승용차의 제동 특성 조사 결과, 직결 유출 연결로(A형)와 Loop 유출 연결로(B형)에서의 통행 특성이 동일한 것으로 분석되어, 유출 연결로를 인식하는 운전자의 특성이 직결 연결로와 루프 연결로를 동일하게 인식하는 것으로 분석되어 트럼펫형 인터체인지 계획시 A형이 교통 안전상 유리한 것으로 분석되었다.

아울러 B형의 부득이한 설치시 안전성 확보를 위해 다음의 개선방안들이 고려 할 수 있다.

- 1) 최고 제한 속도 표지의 변이구간 및 노즈 부근 동시 설치로 운전자에게 감속을 위한 사전 정보 제공 및 안전성 확보
- 2) 미끄럼 방지시설(그루빙)을 이용한 유출 연결로 주행 차량의 감속 유도 및 안전성 확보
- 3) NOSE 접근부에 주행 차량의 감속을 위한 속도 감시 카메라 설치로 차량의 감속 유도 및 안전성 확보

참고문헌

1. 건설교통부, “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침”, 대한토목학회, 2000
2. 조완형, “트럼펫형 IC 평면선형 설계기준 개선방안 연구”, 명지대학교 대학원 석사학위 논문, 1999
3. 박종수, “고속도로 분기점 연결로에서 교통사고와 기하구조의 관계분석에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 2004
4. “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.