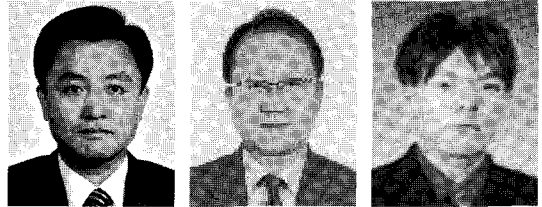


트럼펫형 인터체인지 문제점 및 개선방안



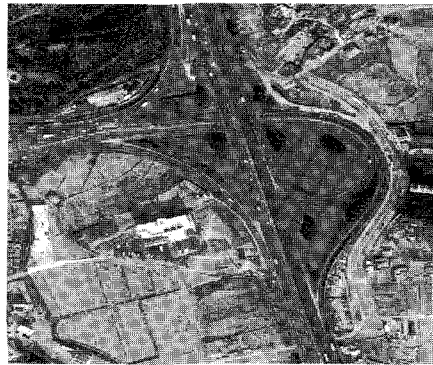
조완상 | 정회원 · (주)건화 부시장 · 도로 및 공항기술사
 김병수 | 정회원 · (주)건화 이사 · 도로 및 공항기술사
 한상연 | 정회원 · (주)건화 과장

1. 서론

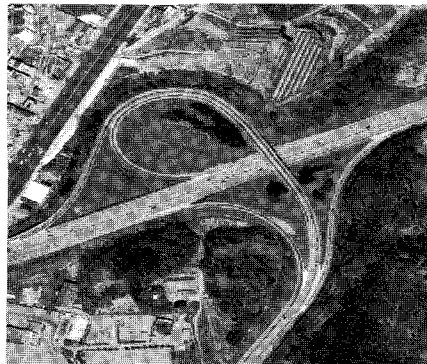
2007년 현재 우리나라 고속도로는 24개 노선 2,922km의 연장을 가지고 있으며 2007년 말까지는 3,400km의 고속도로가 개통될 예정이다. 또한 2020년까지 동서를 9개축으로 남북을 7개축으로 6,160km의 고속도로를 격자형으로 구축하여, 전국 어디에서나 30분 이내에 고속도로 진입이 가능하도록 함으로써 전국을 만나질 생활권으로 계획하고 있다.

우리나라는 2007년말 현재 자동차 보유대수 1,629만대로 자동차의 보급 확대에 따른 교통사고는 꾸준히 증가하여 교통사고로 인하여 연간 9조 2천억원(경찰청 통계연보, 2004년)에 해당하는 사회·경제적 손실이 유발되고 있다. 따라서 고속도로 시설의 설치기준을 안전측면에서 보다 많은 연구를 시행하여 고속도로 기능을 제고시켜야 할 시기가 되었다.

현재 고속도로 교통사고는 본선보다 출입시설 구간에서 매우 높고, 특히 본선에서 인터체인지로 진출하는 연결로구간에서 발생률이 높으며, 고속도로 인터체인의 대부분이 트럼펫형 인터체인지로 건설되어 있다는 점에서 트럼펫형 인터체인지에



A형 운영사례(수원 IC)



B형 운영사례(군포 IC)

그림 1. 트럼펫형 인터체인지 운영 사례

대한 보다 폭넓고 면밀한 검토와 연구가 필요한 실정이다.

일반적으로 트럼펫형 인터체인지 형식 선정시 A형(본선 진출→직결연결로 진출), B형(본선 진출→Loop연결로 진출)은 주변지형여건과 주방향 교통량 및 주교통의 운행거리 단축(감:약180m) 등의 몇 가지 기본적인 사항만을 고려하여 계획하고 있는 실정이다.

그러나, 최근 도로교통영향평가 및 선형자문 회의 등과 같은 실제 업무시 B형의 경우 본선의 통행 차량이 Loop 연결로로 진출하기 때문에 교통사고 발생확률이 많아 A형의 적용에 대한 의견들이 대두되고 있는 실정이며, 앞서 언급한 바와 같이, 인터체인지 형식의 주류를 이루고 있는 트럼펫형 인터체인지의 보다 효율적인 개선방안을 제시하고자 현재 국내에서 운영중인 트럼펫형 인터체인지의 현황과 문제점 등을 고찰하고 이에 대한 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 트럼펫형 인터체인지 운영 현황

2.1 고속도로 인터체인지 운영 현황 (2005년 기준)

2005년 기준 전국 고속도로에서 분기점(Junction)을 제외한 공용중인 인터체인지(Interchange)를 대상으로 각각의 형식에 대해 조사한 결과, 총 284개소 중 대부분인 211개소(74%)가 트럼펫형으로 운영중이며, 나머지 형식중 대다수는 다이아몬드형(간이입체교차로)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.

2.2 트럼펫형 인터체인지 형식별 운영 현황 (2005년 기준)

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

표 1. 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%

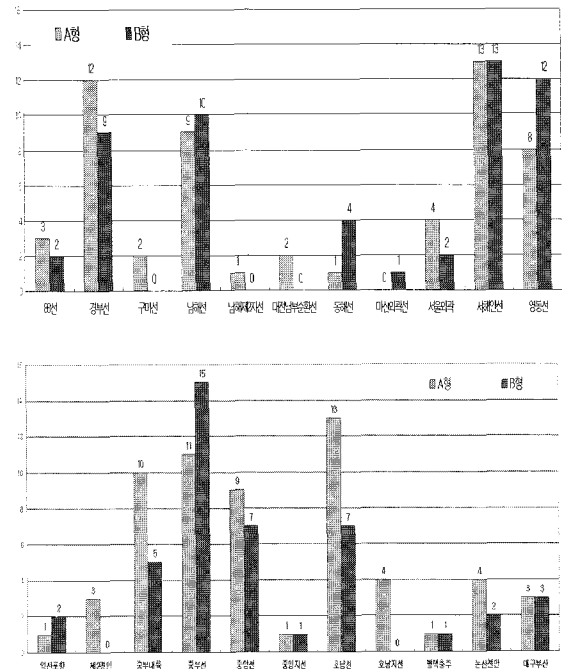


그림 2. 노선별 트럼펫형 인터체인지 운영 현황(2005년)

3. 트럼펫형 인터체인지 적용기준

3.1 형식 선정기준

트럼펫형은 루프 연결로를 교차구조물의 전방에 설치하여 유입연결로로 사용하는 A형과 루프연결로를 교차점을 지나서 유출연결로에 루프연결로를 사용하는 형식 B형이 있으며, 두 형식에 있어서 연결로가 본선 위를 통과할 경우와 밑을 지날 경우가 있다.

교통안전성과 경제성 관점에서 제시한 트럼펫형 인터체인지 A, B형 결정시 주요 고려사항은 아래와 같다.

- 교통량이 적은 방향의 연결로에 대하여 루프 형식을 적용
- 루프와 준직결 연결로의 교통량에 큰 차이가 없는 경우에는 유입연결로에 루프를 적용(A형)
- 유입연결로에 루프를 사용하는 것이 교통의 안전 확보상 유리
- B형을 적용할 경우 원칙적으로 본선이 교차로(램프)를 상부통과(Over pass)하는 형식 적용
- B형의 경우에는 루프형 반경을 크게 하여 본선 상에서 루프 전체에 대한 시야 확보 필요

3.2 본선 유출부 기하구조기준

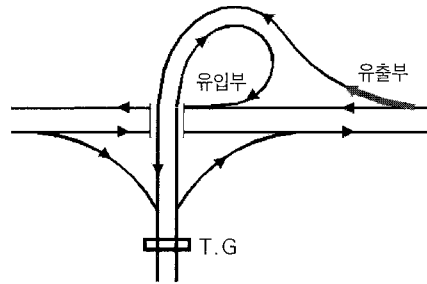
연결로 접속부에는 유출, 유입, 감속, 가속 등 복잡한 운전동작이 이루어지므로 교통의 안전한 효율적인 운영이 유지되도록 많은 주의를 기울여야 하며, 특히 연결로 접속부의 설계시 자동차의 진로변경과 변속이 안전하고도 원활하게 이루어지도록 다음 사항에 유의한다.

- 본선선형과 변속차로 선형의 조화
- 연결로 접속부의 시인성 확보
- 본선과 연결로 간의 투시성

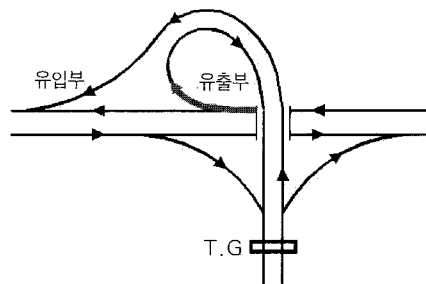
특히, 고속도로 등에서 관측한 자료에 따르면, 유출 노즈에서 자동차의 평균속도는 연결로의 설계속

도보다 상당히 높은 것으로 나타났다.

따라서 본선으로부터 유출연결로로 주행시 일반적으로 운전자는 본선의 고속주행 속도감각에서 완전히 벗어나지 못하므로 유출연결로에서는 갑자기 작은 반경의 원곡선이 나타나도록 설계하는 것은 바람직하지 않으며, 어느 정도의 완화주행이 필요하므로 다음과 같은 설계기준을 준수하도록 규정하고 있다.



A형(본선→직결 연결로 진출)



B형(본선→Loop연결로 진출)

그림 3. 트럼펫형의 Loop 형식

표 2. 유출연결부 최소평면곡선반경

본선 설계속도(km/hr)	120	100	80
노즈 최소평면곡선반경(m)	250	200	170

표 3. 유출연결부 노즈 부근의 클로소이드 최소 파라미터

본선 설계속도(km/hr)	120	100	80
계산값(m)	66.7	55.6	44.4
본선 최소규정 값(m)	70	55	45
연결로 최소규정 값(m)	90	70	60

표 4. 유출연결부 노즈 부근의 종단곡선

본선 설계속도(km/hr)		120	100	80
최소종단곡선 변화비율(m/%)	볼록형	20	15	10
	오목형	20	15	12
최소 종단곡선 길이(m)		50	45	40

3.3 안전시설기준

고속도로 및 국도 등의 고규격도로에서의 기하구조의 변화, 운전자의 인터체인지 불인지, 시거불량 등의 사유 등으로 인터체인지에서의 사고비율이 매우 높다. 이에 인터체인지 설계 및 개량시에는 운전자의 통행행태에 따라 적절한 안전시설물 설치를 통하여 사고를 미연에 방지하여야 한다.

① 인터체인지 주변 표지설치

- 차량의 원활한 유·출입을 위한 부대 표지설치
- 연결로의 적정 주행속도 안내 표지

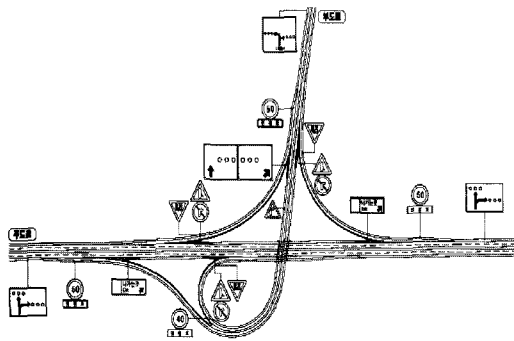


그림 4. 입체교차로 설계 지침에 의한 안내 표지설치 예시도

② 차량방호안전시설

- 연결로 출구 분기점, 곡선반경이 작은 구간 등에 설치
- 방호울타리(가드레일, 가드케이블, 방호벽)
- 충격흡수시설(쿼드가드, 모래채움통)

③ 미끄럼 방지시설

- 곡선반경이 작은 구간, 종단급경사 구간 등에 설치

- 표면에 신재료 추가방식(개립도 마찰층, 수지계 표면처리)
- 표면의 재료를 제거하는 방식(그루빙, 슛블라스팅)

4. 유형별 안전성 비교

4.1 사고건수분석을 통한 안전성 비교

(1) 유형별 사고분석 - 전체유형

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

표 5. 인터체인지 유형별 사고분석(1989년~2005년)

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

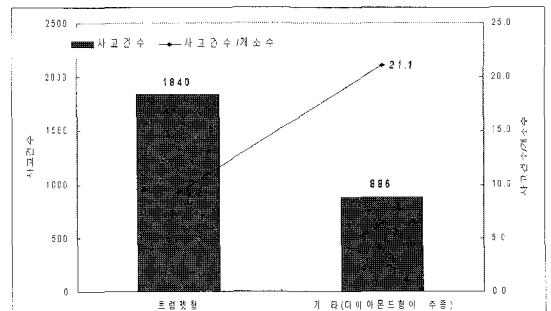


그림 5. 인터체인지 유형별 사고분석(1989년~2005년)

(2) 유형별 사고분석 - 트럼펫형 인터체인지 (A형, B형)

과거 17년간 A형은 112개소에 974건의 사고가 발

생하여 개소당 8.7건의 사고가 발생한 것으로 나타났으며, B형은 87개소에 866건으로 개소당 10.0건의 사고가 발생된 것으로 분석되었다. A형 대비 B형이 개소당 사고가 1.3건 발생률이 높은 것은 A형과 B형의 유출 형식 차이가 그 원인인 것으로 사료된다.

표 6. 트럼펫 인터체인지 유형별 사고분석

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

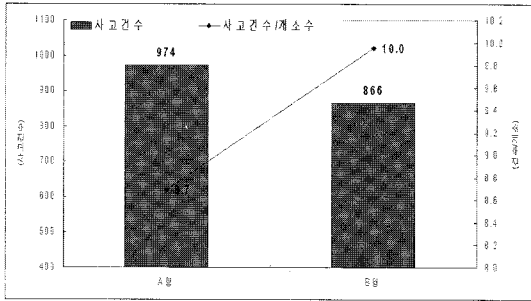


그림 6. 트럼펫 인터체인지 유형별 사고분석

(3) 사고사례 분석을 통한 안전성 비교

과거 5년간 발생한 교통사고 건수는 A형의 직결 유출연결로가 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 제고할 때 적은 교통량에서도 높은 사고율을 보이는 B형의 Loop 연결로가 A형의 직결연결로 보다 교통안전적인 측면에서 확연히 불리한 것을 입증하고 있다.

또한, 고속도로 계획시 연결로 이용교통량이 많은 주방향 연결로를 직결연결로로 계획하고, 교통량이 적은 연결로를 Loop 연결로로 계획하므로, 연결로

의 교통량을 고려할 경우에는 B형의 사고율은 2.4배 보다 훨씬 많을 것으로 예상된다.

표 7. 유출 연결로 유형별 사고 분석

구 분	A형(직결형)	B형(Loop형)	총 계
사고발생건수	84	164	248
개소수	112	87	199
건수/개소수	0.8	1.9	1.2

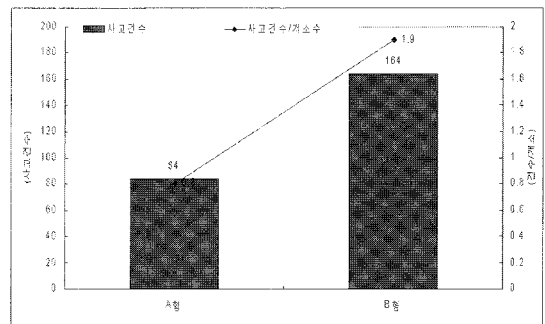


그림 7. 유출연결로 유형별 사고분석



그림 8. B형 Loop 연결로 사고사례

4.2 통행 행태분석을 통한 안전성 비교

(1) 본선 설계속도 대비 유출부 연결로 속도차 비교

일반적으로 트럼펫형 인터체인지 연결로의 설계 속도는 직결형인 경우 60km/h~80km/h, Loop형인 경우 40km/h를 적용할 수 있다. 도로의 기능 및 구분에 따라 본선 고속도로의 설계속도가 100km/h~120km/h인 점을 제고할 때 본선 주행

후 감속과정을 거쳐 연결로로 진입하는 차량이 감속해야 하는 속도 차이는 A형의 경우 40km/h이고, B형의 경우 60km/h~80km/h로 B형의 필요 감속요구속도가 1.5배~2.0배가량 더 큰 것을 알 수 있다.

이는 A형의 경우 고속으로 고속도로 본선을 주행하는 차량이 상대적으로 설계속도의 변화가 적은 (40km/h) 직결연결로로 주행하기 때문에 설계속도의 변화가 큰(60km/h~80km/h) B형의 Loop연결로 보다 운전자에게 제공하는 감속의 요구가 적어 안전하며, 이외는 대조적으로 B형은 운전자에게 요구되는 감속량이 많아 그만큼 안전성 측면에서 불리하다고 볼 수 있다.

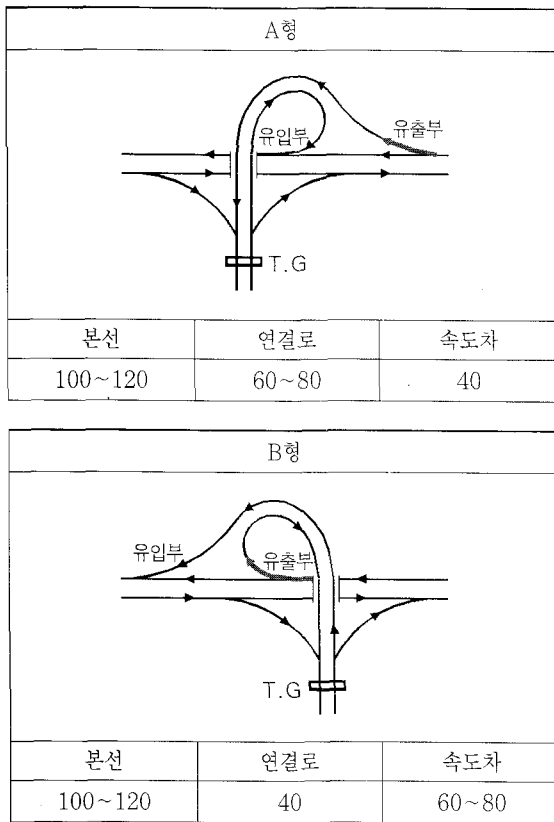


그림 9. 유형별 유출부 연결로 속도 변화 비교(km/h)

(2) 유형별 유출부 감속행태 비교

앞서 언급한 바와 같이 트럼펫형 인터체인지의 형식을 구분하는 가장 중요한 요인은 본선에서의 유출 형태에 의해서 직결연결로를 이용하는 경우(A형)와 Loop 연결로를 이용하는 경우(B형)로 구분된다.

유출부에서의 운전자 통행행태조사를 위해 최종 제동위치에 대한 트럼펫 인터체인지 형식별 조사 결과, 그림10과 같이 트럼펫형 인터체인지의 형식에 관계 없이 감속차로 상에서 모두 동일한 행태(감속인지거리의 대부분이 노즈로부터 40~60m에 위치)를 보이는 것으로 분석되었으며, 이는 운전자가 트럼펫형 인터체인지 유출연결로 진입시 직결연결로(A형)와 Loop연결로(B형)에 대한 사전파악이 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 교통안전성 측면 고려시 트럼펫형 인터체인지 형식 중에서 B형이 교통사고측면에서 매우 불리한 것으로 나타남으로써 이에 대한 개선방안이 필요하다고 판단된다.

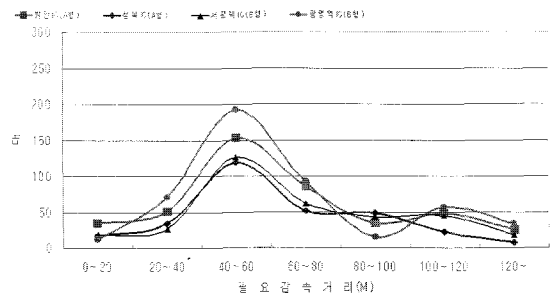


그림 10. 유출부 연결로 형식별 감속인지 거리 비교

5. 유형별 유출연결로 용량 비교

연결로 접속부에서는 본선의 용량(a), 분류부(b1) 및 합류부(b2)의 영향권 용량, 연결로의 용량(c) 등 세가지 용량값이 존재한다. 연결로 접속부와 연결로의 용량은 고속도로 본선의 자유속도와 연결로의 자유속도에 따라 변한다.

일반적으로 루프연결로의 경우 제시된 직결연결로의 설계속도에서 10km/h를 뺀 값을 적용하므로, 트럼펫형의 경우 직결연결로와 루프연결로와의 용량의 차이는 100(pcp)로(표8 참조) 큰 차이가 없어, 연결로의 교통용량적인 측면보다는 안전적인 측면에서 연결로의 형식을 선택하는 것이 필요할 것이다.

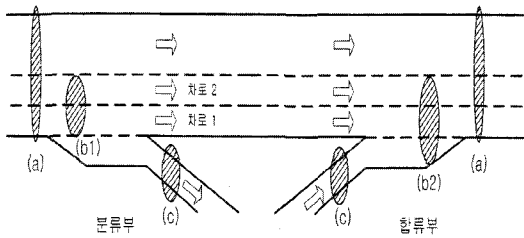


그림 11. 연결로 접속부 용량

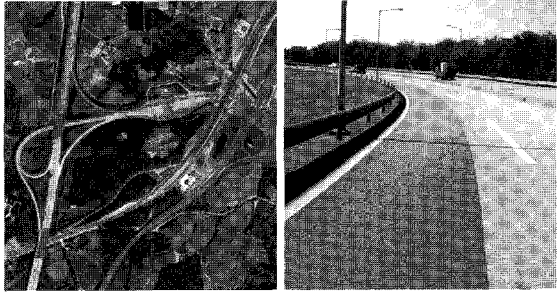
표 8. 트럼펫형 인터체인지 유형별 연결로 용량

연결로 자유속도 (kph)	연결로(C)의 용량 (pcph)		비 고
	1차로 연결로	2차로 연결로	
>70	≤2,000	≤4,000	
≤70	≤1,900	≤3,800	
≤60	≤1,800	≤3,600	
≤50	≤1,700	≤3,400	A형 유출연결로
>40	≤1,600	≤3,200	B형 유출연결로

6. 불합리한 트럼펫형 인터체인지 사례분석

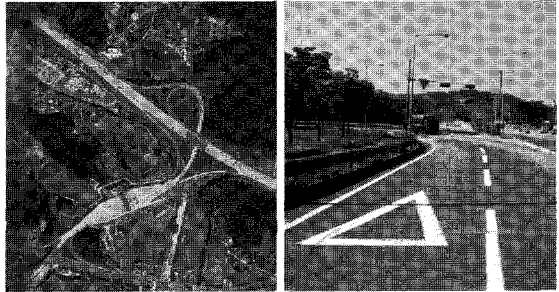
6.1 주변여건변화로 인한 부방향 Loop연결로 확장 사례

▶ 비봉 IC



- 당초 부방향으로 계획된 서서울 → 비봉방향 Loop연결로의 2차로 확장: 길어깨 이용 차로 확보
- 고속도로, 국도, 지방도의 병렬계획으로 기형적 교차로 발생

▶ 동수원 IC

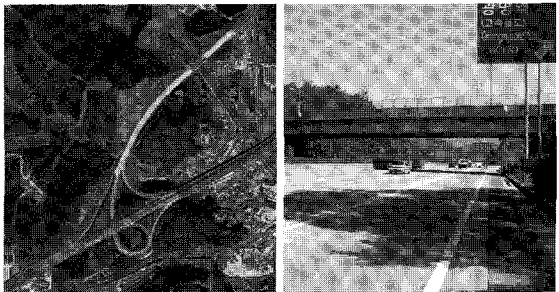


- 당초 부방향으로 설계된 영동고속도로 → 수지방향 Loop 연결로의 2차로 확장

그림 12. Loop 2차로 확장현황

6.2 불합리한 기하구조 적용 사례

▶ 광명역 IC

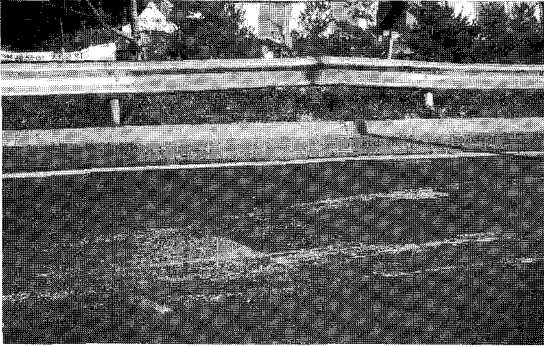


- 유출부 단곡선 적용으로 운전자에게 급격한 핸들조작 요구
- 본선 Overpass로 시거불량

그림 13. 불합리한 기하구조 적용 사례

6.3 부대시설 부족으로 인한 Loop유출연결로 사고사례

▶ 사고사례 1



- 차로이탈로 인한 가드레일 손상
- 급정지로 인한 스키드 마크
→ 시선유도시설 및 감속유도시설 필요

▶ 사고사례 2



- Loop 연결로 유출부 가드레일 손상
→ 충격흡수시설로 교체 필요

그림 14. Loop연결로 사고사례

7. 트럼펫형 인터체인지 개선방안

7.1 교통량 보다는 안전성 위주의 인터체인지 계획 필요(A형 적용)

앞에서 기술된 바와 같이 현재 트럼펫형 인터체인지 형식결정을 위한 가장 중요한 요소는 주방향 교통

류에 따른 회전교통류의 방향이며 아울러 주행비용, 지형지세 및 주변 환경적인 여건 등을 들 수 있다.

그러나 “4. 유형별 안전성 비교”에서 살펴본 바와 같이 안전성 측면에서의 교통사고 발생건수 및 통행행태 분석과 설계속도 측면을 제고할 때 형식 A의 적용이 유리한 것을 알 수 있다.

7.2 인터체인지의 계획을 고려한 노선계획

인터체인지의 계획은 교통조건, 사회경제조건, 자연조건, 국토종합개발계획 및 지역개발계획 등을 종합적으로 감안하여 계획하여야 한다. 이 중 교통조건에 대하여 주통행방향이 명확하다고 한다면 노선 선정단계에서부터 이를 고려하여 사회적, 경제적, 기술적, 환경적 요인을 종합적으로 평가하고, 평가 결과에 따라 최적노선을 선정하여야 할 것이다.

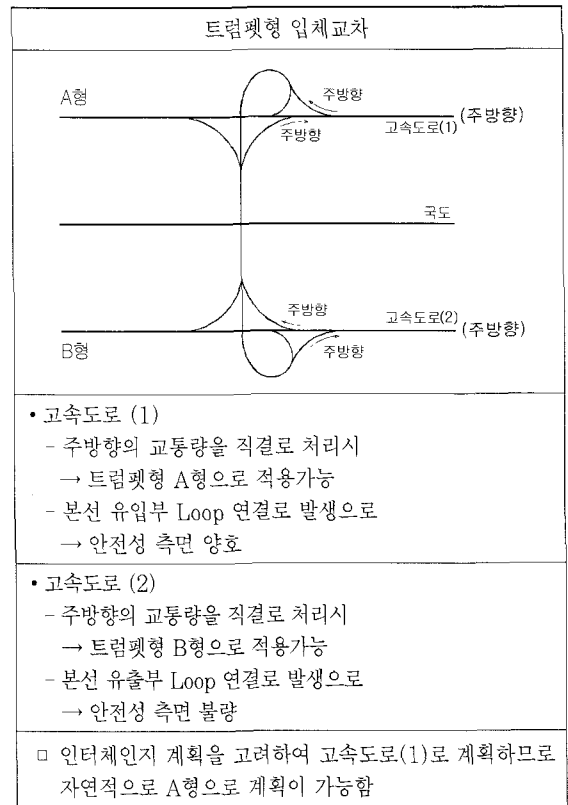


그림 15. 주방향에 따른 노선계획

7.3 인터체인지 접속부 교각개선

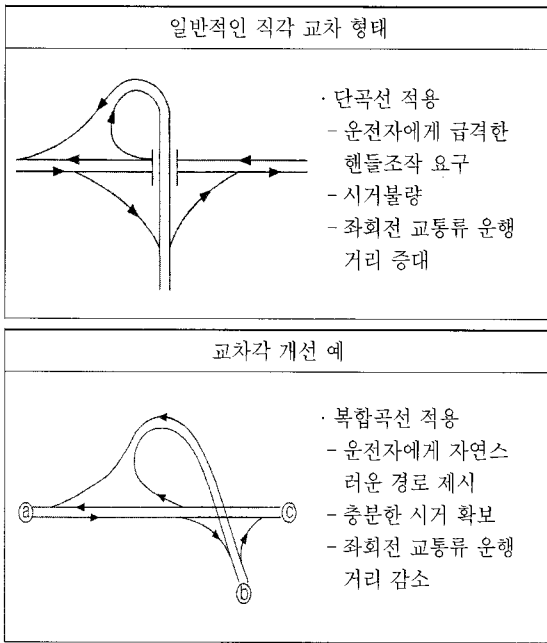


그림 16. 인터체인지 접속부 교각개선 예

8. 부득이한 B형 트럼펫 인터체인지 적용시 개선방안

8.1 감속유도표지 추가 설치방안

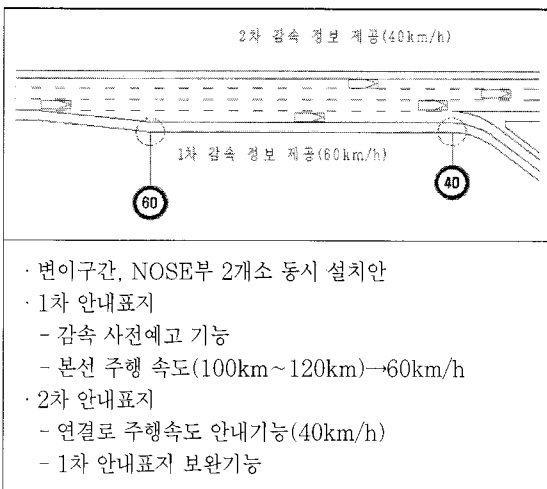


그림 17. 트럼펫형 인터체인지 B형 감속유도표지 개선안

- 변이구간, NOSE부 2개소 동시 설치안
- 1차 안내표지
 - 감속 사전예고 기능
 - 본선 주행 속도(100km~120km)→60km/h
- 2차 안내표지
 - 연결로 주행속도 안내기능(40km/h)
 - 1차 안내표지 보완기능

8.2 본선 Overpass 계획시 개선방안

연결로가 Overpass되어 Over육교로 통과하는 경우 분기단이 잘 보이지 않는 경우가 발생하므로, 계획시 이에 대한 개선이 필요하다.

- ① Over 육교를 3경간으로 계획
- ② 감속차로의 연장을 충분히 확보
- ③ 길어깨 확폭을 통한 시거확보

8.3 미끄럼 방지시설 설치

트럼펫 인터체인지 B형의 감속차로(본선→Loop 유출연결로)에 대해 본선의 고속주행에서 유출연결로의 감속을 유도하기 위한 부대시설로 미끄럼 방지시설 설치 필요

(1) 설치장소

- 평면선형이 불량한 연결로 및 작은 곡선반경 적용구간
- 연결로 종단선형이 급하여 감속이 요구되는 구간

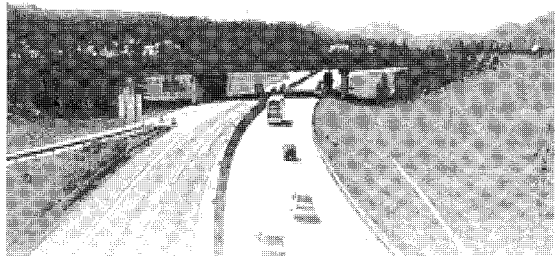


그림 18. 본선 Overpass 3경간 교량 설치

(2) 형식

- 도로표면에 신재료를 추가하는 방식
 - 전면식 처리방식 적용(이격식 처리방식 지양)
- 표면의 재료를 제거하는 형식
 - 그루빙 방식을 원칙으로 적용
 - 슛블라스팅 또는 노면평삭방식

(3) 설치에

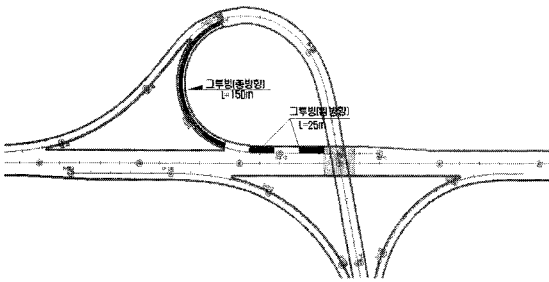


그림 19. 감속차로 미끄럼 방지시설 설치

8.4 속도 감시 카메라 설치를 통한 감속유도 방안

본선으로부터 연결로 주행을 위한 필요 주행속도로의 유도를 위해 가장 적극적인 방안으로 속도감시 카메라를 설치함으로써 안전한 Loop연결로 주행을 유도 할 수 있으며 설치에는 아래 그림과 같다.

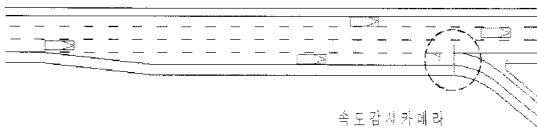


그림 20. 속도 감시카메라 예시도

9. 결론

앞서 살펴 본 바와 같이 트럼펫형 인터체인지는 전체 인터체인지 형식의 약 74%를 차지하고 있는 주요 도로시설물로서 그 중요성과 관심이 날로 증대되고 있다. 이 같은 사실을 근간으로 본 기고에 있어서 가장 큰 주안점은 트럼펫형 인터체인지 형식 선정시 기존의 주방향 교통류 위주의 선정기준에서 이제는 통행자의 안전성을 제고한 형식선정기준으로의 전환에 있다.

그러므로 본 기고에서는, 트럼펫형 인터체인지 형식별 교통사고 발생건수 비교, 유출연결로 통행행태

분석을 통한 안전성 비교, 유출부 연결로 용량비교 등을 검토한 결과 통행자의 안전성을 우선고려한 A형 트럼펫 인터체인지의 계획이 우선시 되어야 한다고 사료된다.

아울러 현재 운영중인 트럼펫형 인터체인지의 안전 및 운영상의 문제점을 소개함과 동시에 보다 효율적인 트럼펫형 인터체인지 계획을 위한 개선방안을 제시하였으며 이는 아래와 같다.

- 교통용량 및 주행비용 측면 보다는 안전성 위주의 인터체인지 계획필요(형식A 적용)
- 인터체인지의 계획을 고려한 노선계획
- 인터체인지 접속부 교각개선

또한, 부득이하게 형식 B형의 적용이 필요한 경우 본선 유출을 위한 Loop연결로에 운전자의 안전 확보를 위한 아래와 같은 사항 등의 개선방안이 필요하다.

- 감속유도표지 추가설치 방안
- 본선 Overpass 계획시 3경간 교량계획
- 미끄럼 방지시설 설치
- 속도 감시카메라 설치를 통한 감속유도

참고문헌

1. 조완상, "감속차로에서 운전행태분석을 통한 트럼펫형 인터체인지 적정 행태에 관한 연구", 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 2006
2. 건설교통부, "도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침", 대한토목학회, 2000
3. 조완형, "트럼펫형 I.C 평면선형 설계기준 개선방안 연구", 명지대학교 대학원 석사학위 논문, 1999
4. 광종수, "고속도로 분기점 연결로에서 교통사고와 기하구조의 관계분석에 관한 연구", 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 2004
5. "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets", American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.