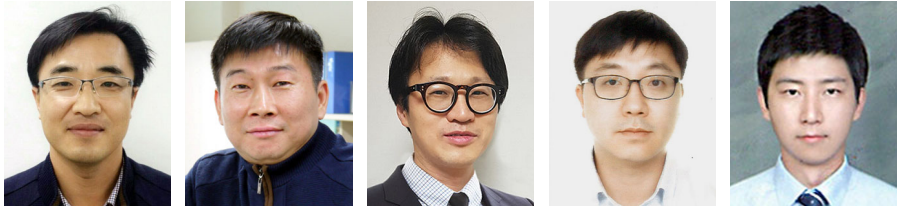


고속도로 나들목형식 및 연결로 유형별 교통사고 특성 분석



김 홍 배 | 한국도로공사 기술심사처 팀장
 서 무 인 | 한국도로공사 기술심사처 차장
 노 정 훈 | (주)동명기술공단 도로부 상무
 복 진 훈 | (주)바우컨설턴트 도로부 부장
 정 승 원 | 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

1. 개요

지난 1980년 우리나라 고속도로 연장은 1,225km에 불과하였다. 그러나 약 38년이 지난 2016년에는 총 42개 노선에 연장 4,694km(민자구간 포함)로서 약 3.8배라는 비약적인 성장을 이루어 냈다. 또한 고속도로 나들목은 고속도로 연장이 증가함과 동시에 지속적으로 증가하여 2016년 기준으로 394개소(민자구간 제외)가 운영중에 있다. 그러나 나들목의 증가는 고속도로 이용자에게 원하는 목적지까지 쉽게 도착할 수 있도록 편의를 제공하는 반면, 교통안전 측면에서 볼 때 고속도로 교통사고의 주요 원인이 되고 있다.

지난 2013년~2015년까지 3년간 고속도로에서 발생한 교통사고를 조사해보면 전체 사고의 23.3%가 나들목 주변에서 발생하였으며, 그 중 47.3%는

과속에 의한 교통사고였다. 따라서 나들목에서 발생하는 교통사고를 줄이기 위해서는 사고의 원인을 파악하는 것이 가장 선행되어야 할 일이다. 본 기술기 사에서는 고속도로에서 공용중인 나들목을 형식별로 구분해 보고, 그 형식에서 지난 5년간 발생한 교통사고를 분석하여 교통안전에 가장 적합한 나들목을 분류하고, 원인별 교통사고를 분석하여 그에 따른 안전대책을 제시하는 것을 그 목적으로 하였다

2. 이론적 배경

2.1 나들목(IC)의 구조와 형식별 특성

고속도로는 우리나라 도로 중 최고등급의 도로로서 높은 주행속도에 적합하도록 최상위 기하구조가

적용되어 있으며, 운전자가 쾌적하고 안전하게 주행할 수 있도록 교통안전에도 심혈을 기울이고 있다. 따라서 고속도로에 위치한 나들목은 안전한 주행환경을 제공하기 위해 모든 나들목에서 입체교차로를 적용하고 있다. 여기서 입체교차로라 함은 나들목의 한 종류로서 연결로를 이용하여 도로 상호간 자동차 통행이 이루어지도록 하는 시설물로서 고속도로 및 자동차전용도로와 같이 출입제한 도로에서 주로 사용된다.

입체교차로 형식에는 불완전입체교차, 로터리입체교차 및 완전입체교차로 분류하고 있으나 우리나라에서는 로터리입체교차는 거의 사용하지 않고 완전입체교차로나 불완전입체교차로가 사용되고 있다.

완전입체교차로 형식에는 그림 1과 같이 크게 트럼펫형, 준직결형, 징코리브형, 클러버형이 있으며, 각각의 특징은 다음과 같다.

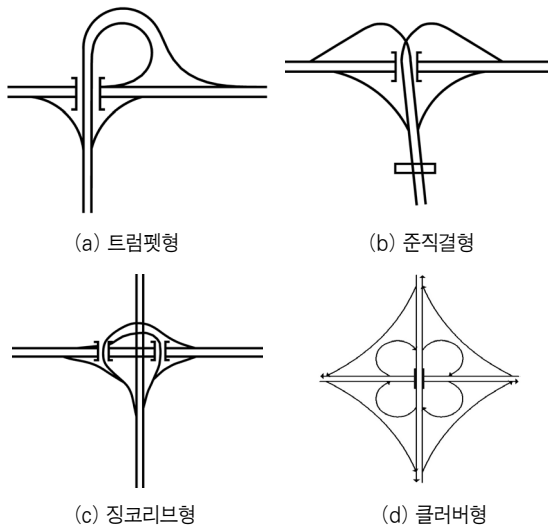


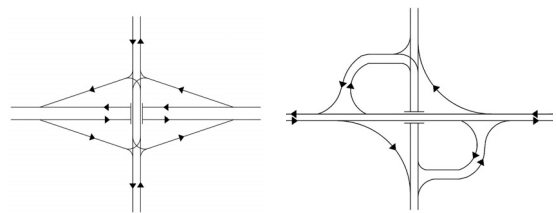
그림 1. 완전입체교차로 형식

- 트럼펫형 : 공사비가 저렴하고 고속도로 나들목에서 많이 쓰이며 Loop형식의 연결로를 갖음.
- 준직결형 : 구조물 연장이 길어 공사비가 고가이며, 연결로-본선-연결로 형식의 3층 구조를 이루고 있음.
- 징코리브형 : 트럼펫 형식보다 공사비가 다소 증

가되나 Loop형식의 연결로를 생략할 수 있고, 편입용지가 적음.

- 클러버형 : 영업소가 필요 없는 도심지에서 주로 사용되고 엇갈림구간과 Loop형 연결로를 갖음.

불완전입체교차로는 고속도로가 연결로 및 하위도로와의 접속시 평면교차로 1개소 이상을 포함하는 형식으로서 대표적으로 다이아몬드형과 불완전클러버형이 있다. 불완전입체교차로는 일반적으로 나들목 교통량이 1만대 미만인 구간에 적용한다.



(a) 다이아몬드형 (b) 불완전클러버형

그림 2. 불완전입체교차로 형식

2.2 교통안전의 이론적 접근

2.2.1 교통안전의 개념

교통안전(Traffic Safety)은 교통사고의 빈도나 사고의 심각도를 줄이기 위해 이론적 내용이나 제도 등을 연구하는 학문으로서 3가지 방법론이 있으며, 이것을 3E라 한다. 3E에는 공학(Engineering), 제도 및 단속(Enforcement), 교육(Education)이 있으며 교통안전을 증대시키기 위해서는 공학적으로 도로의 기능을 향상시키거나 법적, 제도적 단속을 통해 강제적으로 운전자에게 규제하는 방법, 그리고 운전자교육을 통해 안전운행을 유도함으로써 사고발생을 경감시키는 방법 등이 있다.

미국과 영국의 통계자료에 따르면 교통사고의 원인을 운전자(Driver), 도로(Roadway), 자동차(Vehicle)요인으로 구분하였으며 위 요인들은 상호연관성이 있으며 그림 3과 같은 비율을 보여준다고 하였다. 따라서 국내에서 발생하는 교통사고의 원인

분석과 대책 수립에도 사고의 단독 및 복합요인 등이 충분히 고려되어야 할 것이다.

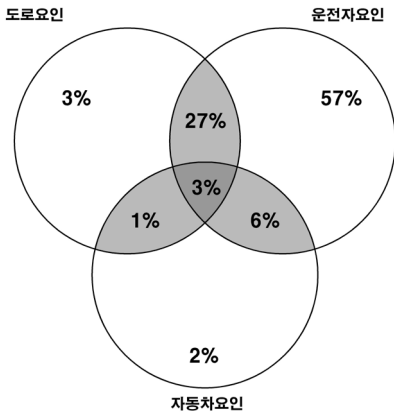


그림 3. 원인별 교통사고

(출처: Ogden(1996), Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering, p32)

2.2.2 교통사고 통계분석

교통사고와 관련된 통계분석에는 거시적 통계와 미시적 통계로 구분된다. 거시적 통계는 지역통계를 다루고 있으며 미시적 통계는 사고 지점에 대한 통계나 각각의 사고에 대한 여러 가지 상태를 다룬다. 따라서 거시적 분석은 국가, 시·도 등 큰 틀에서 교통사고의 대책과 효과분석에 사용되어지며, 미시적 분석은 차량의 속도, 교통조건 및 도로환경조건에 대한 특정위치에서의 교통사고의 원인을 분석하거나 개선하는데 사용된다.

교통사고 통계에 의해 산출된 결과는 통계 표현법에 의해 나타난다. 교통사고 통계 표현법에는 사고건수법(Accident frequency), 사고율법(Crash rate), 사고심각도법(EPDO : Equivalent Property Damage Only)이 있으며 그 특징은 다음과 같다.

- 사고건수법 : 단순히 교통사고 발생건수만을 가지고 교통사고 통계를 표현
- 사고율법 : 교통사고를 차량의 주행거리나 또는 통과대수를 고려한 상대적 표현기법
- 사고심각도법 : 교통사고에서 발생한 모든 피해를 물자의 피해로 환산한 표현방법

3. 나들목 형식 분류

3.1 고속도로 나들목 형식 분류

2017년 현재 고속도로에서 공용중인 나들목은 전체 28개 노선 총 394개가 있다. 이 숫자는 일부 민자구간 나들목과 하이패스전용 나들목이 제외된 숫자임에도 상당히 많은 수의 나들목이 운영되고 있음을 알 수 있다.

표 1은 현재 운영중인 나들목을 노선별 각각의 형식으로 분류한 것이다. 여기서, 준직결형과 징코리브형은 교통운영상 주행패턴이 비슷하므로 동일한 형식으로 분류하였으며, 기타형식은 정형화되어 있지 않은 나들목형식과 도심지 고가차도에서 사용되는 Up-Down형식을 포함하였다.

조사에 의하면 트럼펫형식은 전체 나들목의 78.6%를 차지하고 준직결(징코리브)형은 9.6%, 클로버형은 6.5%, 다이아몬드형은 3.5%이며 기타형식은 1.3%를 차지하고 있다. 그러나 클로버형과 기타형식은 주로 고속도로 노선의 시·종점부 영업소가 필요 없는 도심부에 위치하고 있어 그 주행 패턴이 지방지역 고속도로에 설치되어 있는 일반적인 나들목형식과 동일하다고 볼 수 없다. 따라서 전체 나들목에서 클로버형과 기타형식을 제외하고 나들목형식을 분류해 보면 전체 362개소 중 트럼펫형 310개소 85.6%, 준직결(징코리브)형 38개소 10.5%, 다이아몬드형 14개소 3.9%로서 트럼펫형 나들목이 전체 나들목의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

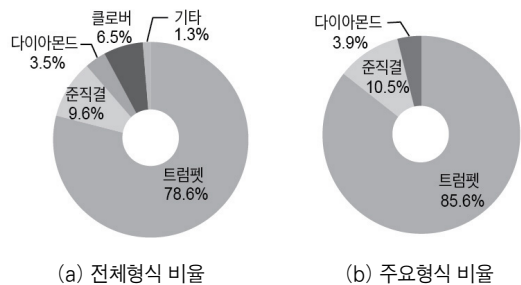


그림 4. 나들목 형식 비율

표 1. 노선별 나들목

노선 번호	노선명	나들목 형식					계
		트럼펫	준직결 (정코리브)	다이아 몬드	클로버	기타	
1	경부선	31	2	2	1		36
10	남해선	25	7				32
12	무안~광주 ~대구	15	1	1		1	18
15	서해안	26	1		1		28
16	울산선		1			1	2
20	익산~포항	7	2		1		10
25	호남선	23		1	1		25
27	순천~완주	6	2		1		9
29	구리~포천	7	3		1		11
30	당진~영덕	17	3	1	1		22
35	중부선	27		1		1	29
40	평택~제천	9					9
45	중부내륙	21	1			1	23
50	영동선	21	2				23
55	중앙선	18		2	2	1	23
60	서울~양양	8	3	2	1		14
65	동해선	20	2		2		24
100	서울외곽	6	3	2	7		18
102	남해1지선		1	1			2
104	남해2지선	2			1	1	4
110	제2경인	3	1		1		5
120	경인선			1	4		5
151	서천~공주	4	1				5
251	호남지선	4	1				5
253	고창~담양	3					3
300	대전남부	2					2
451	중부내륙 지선	3	1		1		5
551	중앙지선	2					2
계		310	38	14	26	6	394

3.2 트럼펫형 나들목의 특징

앞서 살펴본 바와 같이 트럼펫형 나들목이 고속도로 나들목의 85% 이상을 차지하고 있지만 이들 모두를 동일한 형식이라 할 수 없다. 즉, 본선 유출방법에

따라 Type-A와 Type-B로 분류되고 각 Type에서 본선을 Over 또는 Under로 통과함에 따라 그림 5와 같이 트럼펫형 나들목을 총 4가지로 분류할 수 있다.

트럼펫형 나들목의 형식별 특징을 살펴보면 Type-A는 Loop 연결로가 본선 유입연결로로 계획되어 본선에서 고속으로 유출하는 자동차가 이중급은 연결로를 이용함으로써 운전자에게 상대적으로 안전한 주행 환경을 제공할 수 있는 반면 Type-B는 유출연결로를 Loop로 계획하여 연결로 이용자는 이중급은 연결로보다 더 많은 감속과 회전을 하게 되므로 운전자는 상대적으로 불편함을 느낄 수 있다. 그러나 나들목형식을 결정할 경우 방향별 교통량, 주요지장물, 지형 및 경제적 타당성 등을 종합적으로 검토하여 판단하므로 Type-B 형식이 잘못된 형식이라고 할 수 없다.

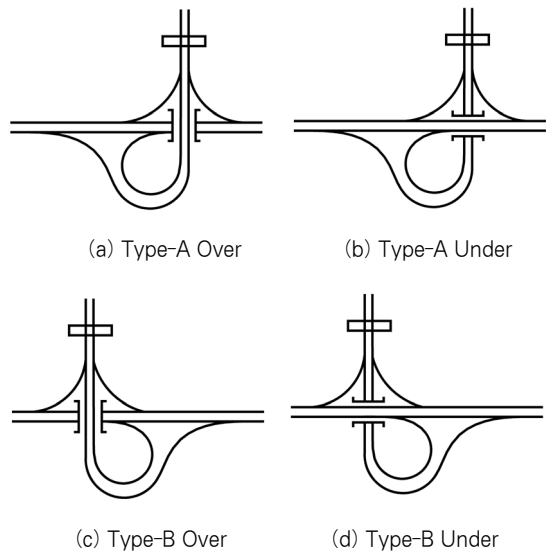


그림 5. 트럼펫형 나들목 분류

또한 트럼펫나들목 형식은 본선 통과방법에는 Over형식과 Under형식으로 구분할 수 있다. 본선 Over형식의 나들목은 연결로 중단경사가 본선 유출 연결로는 상향, 유입연결로는 하향으로 계획되어 본선에서 유출하고자 하는 자동차는 감속에 유리하고 본선에 유입하고자 하는 자동차는 가속에 유리하다. 반면 본선 Under형식의 나들목은 유출연결로는 하

향, 유입연결로는 상향으로 계획되어 본선 Over형식의 나들목과 반대현상이 발생한다.

현재 시공 운영되고 있는 310개 트럼펫형 나들목을 앞서 구분한 방법에 따라 4가지 형식으로 분류해 보면 표 2와 같다.

표 2. 트럼펫형 나들목 형식별 비율

구분	Type-A		Type-B		계
	Over	Under	Over	Under	
개소	22	124	51	80	310
비율 (%)	17.7	40.0	16.5	25.8	100.0
	57.7		41.3		100.0

트럼펫 Tape-A는 55.7%로서 Type-B보다 16.4% 높게 나타났으며, 본선 하부통과 비율은 65.8%로서 본선 상부 통과하는 비율보다 31.6% 높게 나타났다. 따라서 트럼펫형 나들목 중 Type-A Under가 가장 많이 적용되고 있으며, Type-B Over가 가장 적게 적용되고 있음을 알 수 있다.

4. 나들목 교통사고 특성분석

4.1 나들목 형식별 교통사고 분석

나들목에서 발생하는 교통사고를 분석하기 위해 지난 2012년부터 2016년까지 5년간 교통사고 자료를 조사하였다. 교통사고 자료는 사고발생지점에 해당하는 한국도로공사 해당 지사에서 조사한 자료를 정리한 것으로서, 분석 대상은 한국도로공사가 관리하고 2017년 이전에 준공한 고속도로 27개 노선에서 교통사고가 1건 이상 발생한 347개 나들목을 대상으로 하였다.

사고자료는 사고건수법에 의해 교통사고가 많이 발생하는 순서대로 나열하고 각 순위별로 사고심각도(EPDO)를 계산하였다.

자료분석 결과 347개 나들목에서 지난 5년간 발생한 교통사고는 총 5,165건이며 그 중 사고 잦은

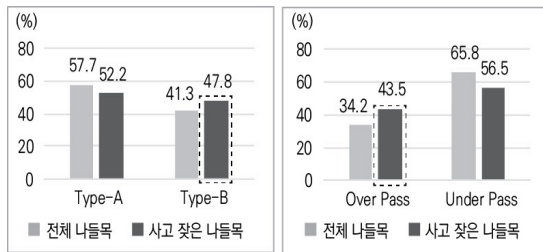
표 3. 교통사고 잦은 나들목

순위	나들목 명칭	사고 건수	EPDO	나들목 형식	본선통과 형식
1	판교	156	162	트럼펫-B	Over
2	북대구	155	159	트럼펫-A	Over
3	수원신갈	122	135	트럼펫-A	Under
4	경산	119	119	트럼펫-B	Over
5	서광주	94	96	트럼펫-B	Over
6	계양	92	98	클로버	Under
7	기흥동탄	89	89	트럼펫-B	Over
8	일산	80	84	트럼펫-A	Under
9	동창원	79	100	트럼펫-A	Under
10	이천	68	70	트럼펫-B	Under
11	남청주	63	65	트럼펫-B	Over
12	송악	62	62	트럼펫-A	Over
13	제천	61	71	트럼펫-A	Under
14	금산	59	59	트럼펫-A	Under
15	남동	56	56	트럼펫-A	Under
16	동수원	52	60	트럼펫-B	Under
17	오산	52	54	트럼펫-A	Under
18	진주	51	62	트럼펫-A	Over
19	청주	48	50	트럼펫-B	Over
20	퇴계원	48	65	트럼펫-A	Over
21	서울산	46	50	트럼펫-B	Over
22	강일	44	44	클로버	Under
23	경주	43	54	트럼펫-A	Over
24	기흥	43	43	트럼펫-A	Under
25	남원주	42	55	트럼펫-B	Over
26	동림	42	44	클로버	Under
27	서평택	42	46	트럼펫-B	Under
28	용인	42	44	트럼펫-A	Under
29	서김해	41	41	트럼펫-A	Under
30	진례	40	42	트럼펫-B	Under
31	복수원	39	41	트럼펫-B	Under
32	남구미	38	46	트럼펫-B	Over
33	서안동	38	40	트럼펫-A	Over
34	현풍	37	43	트럼펫-A	Over
35	동광주	35	41	준직결	Over
36	동해	35	35	트럼펫-A	Under
37	동홍천	35	48	트럼펫-A	Over
38	서이천	35	35	트럼펫-A	Under
39	일죽	35	35	트럼펫-B	Under
40	천안	35	39	트럼펫-B	Over
41	예산수덕사	34	34	트럼펫-B	Under
42	청량	34	34	트럼펫-B	Under
43	구미	33	33	트럼펫-B	Under
44	하조대	33	35	트럼펫-A	Under
45	강릉	32	32	트럼펫-A	Over
46	왜관	32	45	트럼펫-A	Under
47	북광주	31	31	트럼펫-B	Under
48	서청주	31	33	트럼펫-B	Under
49	화도	31	39	트럼펫-A	Under
50	가락	30	47	트럼펫-B	Over

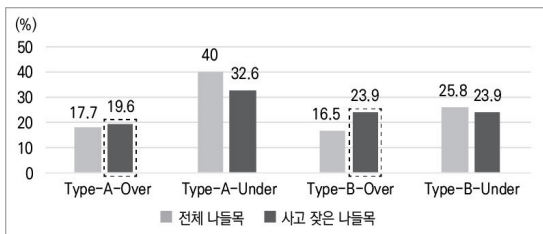
나들목 상위 50개소에서 발생한 교통사고는 총 2,714건으로 전체의 52.5%가 발생하는 것으로 조사되었다. 이것은 몇 개의 나들목에서 교통사고가 집중적으로 발생한다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 교통사고가 빈번하게 발생하는 나들목 상위 50개소를 조사하여 나들목 형식별 사고발생 빈도와 교통사고 유형을 분석하였다.

앞의 표 3은 사고 잦은 나들목 50개소를 정리한 것이다. 사고 잦은 나들목을 유형별로 살펴보면 A-Type Over는 9개소, A-Type Under는 15개소, B-Type Over는 11개소, B-Type Under는 11개소, 기타형식 4개소로 구성되어 있다.

이 중 트럼펫형 나들목 46개소를 고속도로에서 공용중인 310개의 트럼펫 유형별 비율과 비교해 보면, 그림 6에서 보는 바와 같이 트럼펫-B형은 트럼펫-A형 보다 교통사고가 많이 발생하고, 본선을 상부 통과하는 것이 본선을 하부 통과하는 것보다 교통사고가 많이 발생하였다.



(a) 트럼펫형식 비율 (b) 본선 통과유형 비율



(c) 트럼펫형식 및 본선 통과유형 비율

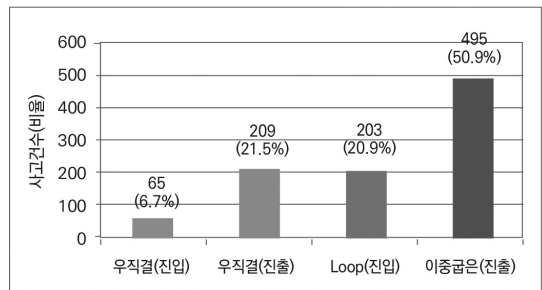
그림 6. 전체나들목과 사고 잦은 나들목의 비교

그리고, 트럼펫형과 본선통과 유형별로 비교해 보면, 트럼펫-A형이면서 본선을 하부 통과하는 형식이

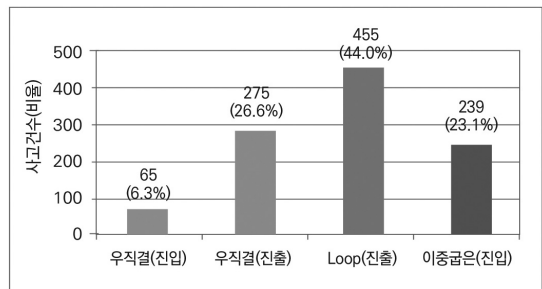
교통사고가 적게 발생하고, 트럼펫-B형이면서 본선을 상부 통과하는 나들목형식이 상대적으로 교통사고가 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

4.2 연결로 유형별 교통사고 유형분석

연결로 유형별 교통사고는 본선 진출연결로에서 전체 교통사고의 70% 이상이 발생하였으며, 특히 Type-A에서는 이중굽은 연결로에서 50.9%의 교통사고가 발생하고 Type-B에서는 Loop연결로에서 44.0%의 교통사고가 발생하였다. 이 수치는 유출연결로 형식 중 우직결 연결로보다 이중굽은 연결로나 Loop 연결로에서 훨씬 더 많은 교통사고가 발생한다는 것을 의미한다.



(a) Type - A



(b) Type - B

그림 7. 연결로 형식별 교통사고 비율

4.3 사고 잦은 나들목의 교통사고 유형분석

고속도로 나들목에서 발생하는 교통사고는 다양한

원인에 의해 발생한다. 그러나 이러한 다양한 원인들을 크게 3가지로 분류해보면 운전자요인, 차량요인, 도로환경요인으로 구분할 수 있다. 또한, 교통사고 요인들은 단독으로 작용하거나 혹은 상호간 복합적으로 작용하여 교통사고의 주요원인이 되곤 한다.

본 연구에서는 앞서 선정된 사고 잦은 나들목 50개소 중 사고심각도(EPDO)가 높은 순위의 나들목 5개소(판교, 북대구, 수원신갈, 경산, 동창원나들목)를 선정하여 각각의 나들목에서 발생한 교통사고 총 631건에 대한 사고원인을 분석하였다.

표 4. 사고 잦은 나들목의 원인별 교통사고 비율

구 분		사고건수 (건)	비율 (%)
운전자요인	과속 및 안전거리 미확보	482	76.4
	전방주시태만	68	10.7
	졸음운전	13	2.1
	음주 및 운전미숙	45	7.1
	소 계	608	96.3
차량결함	적재불량	5	0.8
	차량결합 및 화재	2	0.3
	타이어파손	6	1.0
	소 계	13	2.1
도로환경	노면잡물	8	1.3
	도로사정	2	0.3
	소 계	10	1.6
총 계		631	100.0

사고분석결과 전체 교통사고 631건 중 운전자 요인은 608건으로 96.3%를 차지하고, 차량결함이 13건으로 2.1%, 도로환경요인은 10건으로 1.6%를 차지하여 영국과 미국에서 연구한 원인별 교통사고 비율과 유사한 비율을 보이고 있다.

그러나 교통사고의 원인에는 단독원인과 복합요인이 작용하고 있으나, 본 조사 자료에서는 사고원인에 관한 복합적 요인을 도출할 수 없어 각 요인별 사고원인만으로 분류하였다.

5. 맺음말

현재 고속도로에서 공용중에 있는 나들목은 총 394개가 있으며 그 중 78%가 트럼펫형식이다. 트럼펫형 나들목은 그 형식에 따라 4가지로 분류할 수 있으며, 가장 많이 사용되는 순서부터 나열해 보면 Type-A Under, Type-B Under, Type-A Over, Type-B Over이다.

지난 5년간 고속도로 나들목에서 발생한 교통사고를 트럼펫형 나들목 형식과 대응시켜 보면 Type-B Over에서 가장 많은 교통사고가 발생하였으며, Type-A Under에서 가장 적은 교통사고가 발생하였다. 또한 연결로 형식별로는 전체의 70% 이상이 유출 연결로에서 사고가 발생하였으며 그 중 이중급은 연결로에서 가장 많은 교통사고가 발생하였다. 그리고 교통사고 발생요인 중 운전자요인이 전체의 96.3%를 차지하였으며, 그 중 빗길 과속에 의한 미끄럼 교통사고가 전체사고의 70% 이상을 차지하였다.

따라서, 고속도로 나들목 형식을 결정할 경우 지금까지는 교통의 이동동선과 주요지장물 현황 및 기술적·경제성 등을 검토하여 결정하였으나, 향후에는 나들목 및 연결로 형식에 따른 사고유형과 운전자의 주행특성을 고려하여 최적의 주행환경을 제공할 수 있는 나들목 형식을 결정하여야 할 것이다. 또한, 나들목에서 발생하는 교통사고 중 70% 이상이 설계속도를 상회하는 과속에 의해 발생하고 있으므로 운전자가 속도를 미리 감속할 수 있도록 나들목 주행동선에 대한 정보를 미리 제공해 줄 수 있도록 교통표지판 개선이 필요하고, 운전자가 설계속도 이상으로 주행하는 경우 과속에 대한 도로이탈사고 예방을 위해 편경사를 상향하거나 횡방향 마찰력을 증가하는 등의 도로의 기하구조를 개선하는 방안에도 적극적인 검토가 필요하다. 끝으로 운전자의 주행 패턴에 대한 지속적인 조사 및 연구를 통해 도로의 계획 및 설계부터 충분히 반영하여야 할 것이다.