

상용 ESC 평가 시뮬레이션을 위한 국내 고속도로 진출입로 연구

이홍국* · 박종영* · 장경진* · 서이정* · 유송민*

A Study on the Highway Ramp Section for Simulation of Commercial Vehicle ESC Assessment

Hongguk Lee*, Joongyoung Park*, Kyungjin Chang*, Leejung Suh*, Songmin Yoo*

Key Words : Commercial Vehicle(상용차), ESC(차세제어장치), Highway(고속도로), Interchange(인터체인지), Junction(분기점), Rollover(전복), Ramp Section(진출입로 구간)

ABSTRACT

Commercial vehicle ESC assessment for curvature road was conducted. The previous study of ESC activation condition for losing controllability utilizing the test protocols of double lane change and sine with dwell method was conducted without considering the geometric complexity of roadway design. Since critical rollover accidents were frequently observed in the exit ramp zone, variety of curve, slope and bank have been added for analysis conditions. Detailed feature of the ramp including location, dimension and design characteristics have been analyzed from the typical trumpet type ramp design. Analyzing accident data from 2008, two specific ramps have been selected due to their complexity in design and severity in steering operation.

1. 서론

1.1 연구의 배경

도로의 수송 역할 중 고속도로가 차지하는 비중은 매우 크다. 고속도로는 일반국도에 비하여 고속도, 고용량의 이동성 기능을 담당하는 고규격의 도로이다. 2013년 우리나라 고속도로는 총 38개 노선(국가+민자)에 4109 km의 연장을 가지고 있으며, 2020년까지 동서를 9개축으로 남북을 7개축으로 5,953 km의 고속도로를 격자형으로 구축하여, 전국 어디에서나 30분 이내에 고속도로 진입이 가능하도록 함으로써 전국을 반나

절 생활권으로 계획하고 있다.⁽¹⁾

Table 1의 국내 화물수송 분담률은 2012년 82.1%로 2007년 76.9%에서 꾸준히 증가 추세에 있으며, 철도(4.5%), 해운(13.3%), 항공(0.1%)에 비해 큰 비중을 차지한다. 지리적·경제적 요소와 더불어 타 교통수단에 비해 잘 발달된 고속도로 같은 교통망이 이러한 추세를 뒷받침하고 있다.⁽²⁾

이처럼 고속도로가 수송 분야에서 담당하는 역할이 큰 만큼, 고속도로에서 발생하는 교통사고로 인한 인적·사회적 비용 또한 막대하다. 2013년 고속국도 사고의 치사율은 9.2로 경찰 전체사고 치사율 2.4에 비해 3.9배 높았다. 이러한 결과는 고속도로가 타 도로에 해상대적으로 주행속도가 높기 때문에 사고 시 인명피해가 큰 사망 또는 대형사고화 할 가능성이 높기 때문인

* Kyung Hee University
E-mail : hongyi@khu.ac.kr

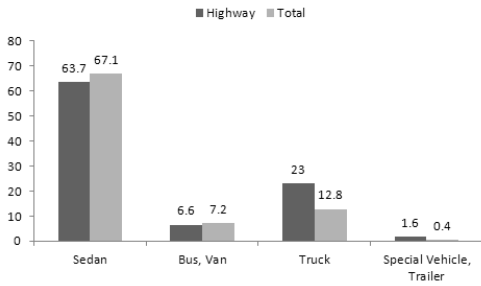


Fig. 1 Highway accident rate by vehicle type⁽³⁾

Table 1 Freight transportation share ratio⁽²⁾

Way \ Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Road	76.9	76.2	79.2	79.6	78.9	82.1
Railway	6.2	6.4	5.1	5	5.1	4.5
Shipping	16.8	17.4	15.7	15.3	16	13.3
Flight	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0

Table 2 Design standard of ramp section

Elements	Unit	Ramp		
		Direct	Loop	
Design speed	km/h	60	50	40
Minimum radius of curve	m	130	80	50
Maximum bank	%	8	8	8

것으로 판단된다. Fig. 1에서와 같이 고속도로에서는 화물차, 특수차에 의한 사고가 경찰 전체사고에 비해 높은 비율을 차지한다.⁽³⁾

화물차량의 특성상 불특정 지역, 부정기적 운행에 따른 초행길이 많고, 또한 운전석 높이가 일반 승용차에 비해 2배 정도 높아 전방시야가 넓어져 차간거리 착시현상으로 인한 안전거리 미확보로 추돌사고 위험이 높고, 적재물로 인해 제동거리가 길고 무게중심이 높아져 커브길 스티어링 등 전도·전복 위험이 높다.

1.2 연구의 목적 및 수행범위

도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙에 따르면, 출입을 완전히 제한하는 자동차 전용도로와 타 도로와의 교차하는 모두 입체교차로 형태로 규정되어있다. 이로

인해 일반도로-고속도로간 또는 고속도로-고속도로간 교차에는 연결로(Ramp) 형식의 도로가 사용된다. 이러한 램프구간은 본선에 비해 곡률과 경사도가 크기 때문에 사고의 위험이 높다. 입체교차는 평면교차에 비해 추돌 및 충돌사고의 위험은 낮으나, 전복사고에 대한 위험은 커지게 된다. 특히, 상용차량의 경우 승용차량에 비해 무게중심이 높아 전복사고의 위험이 크다.

상용 차량에 장착되어 있는 능동 안전장치 중 차세 제어장치(Electronic Stability Control, ESC)는 주행 시 차량이 미끄러지거나 운전자가 의도한 방향으로 진행하지 못하게 될 때, 각 바퀴의 브레이크를 조정하여 차량의 전복 방지 및 차량의 안전성을 확보하는 장치이다. 현재 상용차량의 ESC에 대한 평가기술이 개발 중에 있으며, 평가방법에는 Double lane change 시험법과 Sine with dwell 시험법 등이 있으며, 차량의 조향 조종성을 잃는 환경을 유도하는데 그 목적이 있다. 그러나 평가방법들은 평지에서 이루어지며, 진출입로와 같은 특수한 도로 환경을 반영하고 있지는 않다. 진출입로의 경우 전복에 영향을 주는 곡률과 경사도, 편경사가 복합적으로 구성되어 있다. 도로의 환경적 요인에 따른 전도, 전복의 위험성을 확인하기 위한 실차 시험법은 현실적인 어려움이 따르며 시뮬레이션을 통해 상용차량의 진출입로에서의 거동분석이 필요하다.

본 연구는 상용차량의 ESC 평가를 위한 진출입로에 관한 연구로 진출입로의 특성 파악하고 교통량과 교통사고 통계를 조사하여 상용차량의 진출입이 잦으면서 전복사고가 일어난 곳을 알아보고자 한다.

2. 진출입로의 구조

2.1 국내 진출입로의 설계

국내 고속도로 진출입로 설계 시 기준 조건인 설계 속도, 평면곡선 반경 및 편경사 등의 경우 한국도로공사 도로설계요령을 통해 확인할 수 있다(Table 2).

2.2 국내 고속도로 진출입로 현황

고속도로 진출입로는 크게 나들목(IC, Interchange)과 분기점(JCT, Junction)으로 구분할 수 있다. IC는 고속도로와 일반도로를 연결하며, JCT는 고속도로들 서로 연결한다.

Table 3 Type of ramp section

Type	Trumpet	Semi_Direct, Diamond, etc...
Place (%)	296 (67.6 %)	142 (32.4 %)

Table 4 Annual highway rollover accident

	2011	2012	2013
Total	130	148	148
Ramp Section	39	10	12
(%)	30 %	6.76 %	8.11 %

Table 5 Annual commercial vehicles rollover in ramp section

	2011	2012	2013
Total	39	10	12
Commercial Vehicle	13	2	4
(%)	33.33 %	20 %	33.33 %

한국도로공사에 따르면 국내 고속도로 진출입로 현황은 2014년 11월 현재 총 438개소가 운영 중이며 IC 361개소, JCT 77개소로 구성되어있다.

Table 3 에서 진출입로 형태별로 구분한 결과 트럼펫형이 가장 많다. 나머지 형식 중 대다수는 다이아몬드형(간이입체교차)이거나 일부 방향 통행이 불가능한 불완전 교차로인 것으로 조사되었다. JCT의 경우 준직결 교차로가 주를 이루고 있다.⁽⁴⁾

2.3 트럼펫형 진출입로의 특성

국내 고속도로 진출입로에서 가장 많은 트럼펫 형식은 폐쇄식 영업체계로 운영되는 우리나라 고속도로에서, 영업소를 집약시킬 수 있으므로 자주 사용된다. Fig. 2와 같이 일반적으로 2개의 직결연결로, 1개의 준직결 연결로, 1개의 루프연결로로 구성되어있다.

트럼펫 형식은 루프연결로의 설치방향에 따라 분류된다. 일반적으로 루프연결로를 유입방향으로 설치하는 경우를 A형, 그리고 반대로 루프연결로를 유출방향으로 설치하는 경우를 B형이라 한다(Fig. 3). 또한 진출입 연결로가 위로 통과(Over-pass)한 경우와 아래로 통과(Under-pass)한 경우로 구분된다.⁽⁵⁾

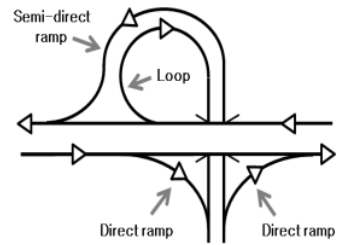
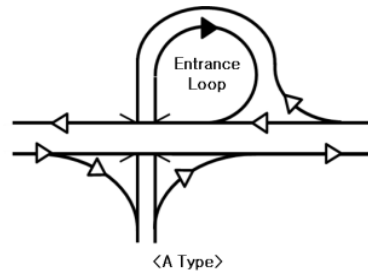
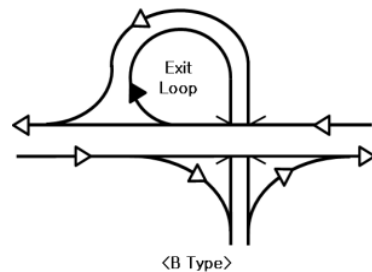


Fig. 2 Basic structure of trumpet ramp



<A Type>



<B Type>

Fig. 3 Trumpet ramp type by loop direction

3. 통계자료 조사

3.1 교통사고 통계분석

2013년 고속도로에서는 총 3,231건의 교통사고가 발생했으며, 그 중 진출입로 구간에서 발생한 사고는 239건으로 7.4%의 비율을 차지한다.⁽³⁾

Table 4의 고속도로 전복사고 현황을 고찰하면, 3년간 전체 노선에서 발생한 전복사고는 총 426건이다. 이 중 진출입로 구간에서 발생한 전복사고는 61건으로 전체 대비 13.32%이며 그 비율이 높지 않다. Table 5에서 진출입로 구간에서 3년간 발생한 전복사고 중 상용차량이 차지하는 비율 또한 31.15%로 높은 수치는 아니다.

그러나 상용차량의 특성상 전복사고 발생은 매우 위험하기에 간과할 수 없다. 버스의 경우 다수의 대형 인명사고가 될 가능성이 높고 화물차량은 화물의 종류에 따라 도로와 주변 환경을 오염시킬 수 있다. 또한 상용차들은 대부분 그 크기가 크기 때문에 사고발생 시 사고처리가 매우 어렵다.

Table 6의 진출입로 구간에서 발생하는 상용차량 전복사고 원인은 과속이 62.3%의 비율을 보여 가장 많은 것으로 나타났다. 과속은 여러 가지 이유에 의해 진출로 곡선구간 진입 전 완화구간과 완화곡선에서 충분한 감속이 이루어지지 않았음을 시사한다.⁽⁴⁾

3.2 교통량 통계분석

Table 7은 고속도로 전체 구간의 2013년 상시조사 교통량을 이용해 작성한 자료이다. 상시조사는 1년 365일 동안 일일 24시간 연속으로 실시하는 조사로 조사 지점의 연평균 일교통량 등을 수집할 목적으로 실시된다. 연평균 일 교통량(Annual Average Daily Traffic, AADT)은 아래 식 (1)로 구해진다.⁽⁶⁾

$$AADT = \frac{N_Y}{365 \text{ days}} \quad (1)$$

N_Y : Yearly vehicle traffic of section

Table 6 Cause of rollover in ramp section

Main Cause	Details	2011	2012	2013
Driver Behavior	Overspeed	29	4	5
	Doze	6	1	1
	Careless	1	2	3
	Improper passing	1	0	0
	Etc	0	2	3
Vehicle defect	Brake	1	1	0
	Etc	1	0	0

Table 7 Traffic volume rank of commercial vehicle on the highway (2013)⁽⁶⁾

Rank	Highway	Section	AADT
Bus, Van			
1	Seoul-Busan	Singal JCT ↔ Pangyo JCT	19818
2	Seoul-Busan	Suwon IC ↔ Singal JCT	11323
3	Seoul-Busan	Giheung IC ↔ Suwon IC	10558
4	Seoul-Busan	Anseong JCT ↔ Osan IC	9631
5	Seoul-Busan	Cheonan IC-North-Cheonan IC	9583
Small Truck			
1	Seoul out Circular	Sangil IC ↔ Gangil IC	33249
2	Seoul out Circular	Hanam JCT ↔ Snagil IC	30145
3	Seoul out Circular	Jungdong IC ↔ Songnae IC	27427
4	Seoul out Circular	Seoun JCT ↔ Jungdong IC	27343
5	Seoul-Busan	Suwon IC ↔ SingalJCT	24443
Midsize Truck			
1	Seoul-Busan	North-Daegu IC ↔ Geumho JCT	11838
2	Seoul-Busan	Dodong JCT ↔ North-Daegu IC	11380
3	Seoul-Busan	East-Daegu JCT ↔ Dodong JCT	10962
4	Seoul-Busan	Cheonan JCT ↔ Cheonan IC	9708
5	Seoul-Busan	Cheongwon JCT ↔ Nami JCT	9415
Heavy Truck			
1	Yeongdong Ex	Ansan JCT ↔ Gunpo IC	5374
2	Yeongdong Ex	Bugok IC ↔ North-Suwon IC	4633
3	Namhae Ex	Chirwon JCT ↔ North-Changwon IC	4409
4	Seoul-Busan	North-Daegu IC ↔ Geumho JCT	4355
5	Seoul-Busan	Dodong JCT ↔ North-Daegu IC	4089

Table 8 Rollover case in highway ramp

Date	Point	Vehicle type
08.01.17	Gumi IC	Small Truck
08.07.04	Daejeon IC	Heavy Truck
09.05.09	Waegwan IC	Heavy Truck
09.05.27	Munui IC	
09.07.26	Suwon IC	
09.08.13	Joyang IC	
09.09.25	Daeso JCT	Midsized Truck
09.12.18	Eonyang JCT	Heavy Truck
10.08.27	East-Gunsan IC	
10.08.31	Singal JCT	Van, Bus
10.11.13	Chungju IC	Van, Bus
11.04.05	Suwon IC	Heavy Truck
11.04.25	East-Gimhae IC	
11.05.26	Biryong JCT	Heavy Truck
11.09.26	Cheongwon JCT	Heavy Truck
11.10.18	Bugok IC	Heavy Truck
11.11.05	Sangil IC	Van, Bus
12.01.02	Gwangmyeong IC	
12.02.11	Toegyewon IC	
12.05.21	Bugok IC	Midsized Truck
12.06.26	Pangyo JCT	Small Truck
12.07.30	Gyeongju IC	
12.09.17	North-Daejeon IC	
12.09.23	Danyang IC	Small Truck
13.03.21	South-Cheonan IC	Heavy Truck
13.05.20	East-Osan JCT	Heavy Truck
13.05.26	Jonam JCT	
14.07.16	Daeso IC	Heavy Truck
14.08.26	Gwangju IC	Midsized Truck
14.09.16	Icheon IC	Heavy Truck
14.09.17	Hoedeok JCT	Midsized Truck

Table 9 Analysis object ramp type

Point	Main type	Loop type	Pass way
Suwon IC	Trumpet (complex)	A type (Entrance loop)	Complex
Bogok IC	Trumpet	B type (Exit loop)	Under Pass

버스는 수도권 위성도시(분당, 수원, 동탄, 용인 등)의 광역버스노선과 서울의 고속버스 노선에 따라 경부선 수도권 구간이 상위를 차지했다. 해당 구간은 버스 전용차선이 운영되는 구간이기도 하다.

소형화물의 경우 서울외곽순환선 구간들이 상위에 분포했다. 이는 상대적으로 짧은 거리의 수송을 담당하는 소형화물의 수요가 인구밀도가 높은 수도권 지역에서 크기 때문인 것으로 분석된다.

중형과 대형화물은 주로 대구·구미지역의 산업단지 및 군포·부곡의 물류기지의 영향으로 통행량이 많은 것으로 보인다. 또한 경부선 대구·구미지역 구간은 중부내륙선, 익산포항선, 대구부산선, 중앙선, 88울림픽선 등 많은 도로들이 교차하는 분기점이 형성되어 있어 교통량이 많게 나타나는 것으로 분석된다.

4. 상용차량 전복분석

4.1 사고사례 분석

고속도로 진출입로에서의 상용차량 전복사고 사례를 조사하기 위해 사고기록 자료⁽⁷⁾를 고찰하였다. 그러나 일부 사고만이 기록되어 있고, 위치 또한 특정한 기준 없이 기록되어 분석에 어려움이 있었다. 때문에 교통사고 기사자료도 함께 참고하여 사고발생 진출입로 위치와 차종을 조사하였다.

Table 8은 2008년부터 현재까지 총 31건의 사고사례이다. 차종은 12종 분류기준에서 화물차는 소형, 중형, 대형으로 묶어 분류하였다. 정확한 차종을 알 수 없는 경우는 공백 표기했다.

조사된 진출입로 전복사고 내에서 경부고속도로 수원IC와 영동고속도로 부곡IC는 각각 2건의 사고가 있었음을 알 수 있다. 해당 IC는 상용차 교통량에서도 상위에 해당하는 구간에 속하는 곳으로, 상용차 진출입이 잦은 지역이다.

Table 9에 보였듯이 두 곳 모두 국내 진출입로 유형 중 가장 많은 트럼펫형 구조를 취하고 있으면서도, 세부적인 형태에는 차이가 있다.

4.1.1 수원IC

과거 트럼펫 구조에서 개량공사를 통해 진입구간과 진출구간이 따로 분리된 최초의 IC이다. 서울방향 진입로가 루프 형태인 A형 구조이지만, 신설된 부산방향 진출로 또한 'J'자 형태의 급커브 구간을 가지고 있다.

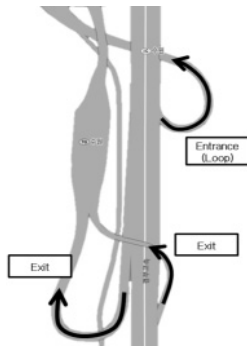


Fig. 4 Suwon IC

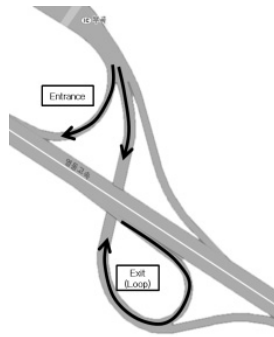


Fig. 5 Bogok IC

또한 서울방향 진입로도 ‘ㄱ’자 형태의 급커브 구간이 있어 양방향 진출로 모두 전복 위험이 높을 것으로 판단된다(Fig. 4).

4.1.2 부곡IC

전형적인 트럼펫 구조로 유출로가 루프 형태인 B형이며, 진출로가 루프 형태로 되어있어 고속으로 주행하던 차량이 충분한 감속을 하지 않을 경우 전복 위험이 높을 것으로 분석된다. 또한 인천방향 진입로는 본선과 평행한 요금소 위치로 인해 곡률이 크게 나타난다(Fig. 5).

5. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 상용차량의 교통사고 중 고속도로 진출입로에서 일어나는 전복사고에 초점을 두어 진출입로 구조, 사고통계와 교통량, 사고사례를 분석하였다.
- 2) 국내 고속도로 진출입로 중 가장 많은 비율로 운영되고 있는 트럼펫형의 구조를 대상으로 분석한 결과 진출입로의 유출 노즈부, 연결로 루프구간

이 전복사고에 있어 위험도가 높을 것으로 예상된다.

- 3) 사고통계 분석 결과 진출입로 구간에서의 전복사고는 대부분 과속에 의해 발생하는 것으로 나타났다. 이는 충분한 제동거리의 제공 및 과속 방지 대책이 필요함을 시사한다.
- 4) 2008년부터 현재까지 수집 가능한 정보를 통해 31건의 사고기록을 조사하였으며, 이 중 사고 빈도가 높고 교통량이 많은 곳은 수원IC, 부곡IC로 나타났다.
- 5) 두 IC 모두 트럼펫 형식으로, 수원IC는 복합적인 구조로 이루어져 있어 곡률이 크게 형성되어있는 연결로가 3곳이었다. 부곡IC는 전형적인 트럼펫 형식으로 유출 루프부와 유입부의 곡률이 크다.

후 기

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(14PTSI-C054118-06)으로 수행된 연구임.

참고문헌

- (1) 국토교통부, 2011, “제2차 도로정비기본계획.” pp. 31-32.
- (2) 한국교통연구원, 2014, “2013년 국가교통통계 국내편.” pp. 9.
- (3) 도로교통공단, 2014 “교통사고 통계분석.” pp. 288-325.
- (4) 한국도로공사, 2014, 정보공개청구자료, 2014-348.
- (5) 대한토목학회, 2009, “도로의 구조 시설 기준에 관한 규칙 해설”
- (6) 국토교통부, 2014, “2013 도로 교통량 통계연보”
- (7) 도로교통공단, 2014, “고속도로 유출입로 차량단독(전도전복) 교통사고”, 내부자료