

■ 論 文 ■

U-turn 설치를 위한 적정 폭원에 관한 연구

A Study on Appropriate Breadth for U-turn Setup

이진욱

((주)한국교통이엔씨)

김기혁

(계명대학교 교통공학과 교수)

목 차

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 <ul style="list-style-type: none"> 1. 연구의 목적 및 배경 2. 연구의 범위 및 방법 II. 이론적 고찰 <ul style="list-style-type: none"> 1. 기존 연구 검토 2. U-turn의 설치기준 및 현황 검토 3. PC-Crash 프로그램의 개요 III. PC-Crash 시뮬레이션을 이용한 분석 과정 <ul style="list-style-type: none"> 1. 실차 실험을 통한 U-turn 회전반경 실험 2. 실차 실험차량 제원을 이용한 PC-Crash | <ul style="list-style-type: none"> 시뮬레이션 <ul style="list-style-type: none"> 3. U-turn 회전반경의 실험값과 예측값의 비교 검토 4. 국내 차량에 대한 U-turn 회전반경 예측 IV. 민감도 분석 <ul style="list-style-type: none"> 1. 운전자 행태에 대한 분석 2. 차량 제원에 대한 분석 V. 결론 참고문헌 |
|---|---|

Key Words : 유턴, 회전반경, 폭원, 설치기준, 운전자 행태
 U-turn, Turning radius, Breadth, Installation standards, Driver Behavior

요 약

교통안전시설 실무편람에 의하면 현재 U-Turn 설치 가능한 지점으로 최소폭원을 ‘편도 폭 9m 이상’의 지점으로 하고 있으며, U-Turn 허용차량은 승용차로 제한하는 것을 원칙으로 하도록 규정하고 있다. 그러나 최근 대형화된 승용차와 보편화된 SUV(sports utility vehicle)차량이 한번에 U-Turn을 완료하지 못하면서 교통소통과 교통안전에 문제를 야기시키고 있다.

본 연구에서는 실제 차량을 이용한 U-turn 회전반경의 실차 조사치와 교통사고 재현 프로그램인 PC-Crash에 의한 예측치를 비교·검정한 후 PC-Crash를 이용하여 국내 승용차에 대해 U-turn 회전반경에 대해서 예측하고 U-Turn 설치를 위한 적정 폭원으로 제시하였다.

Currently, the minimum breadth as a point available for U-turn setup is designated as “over 9m for one way” in the traffic safety facilities practical manuals, and vehicles allowed to make a U-turn are limited to passenger cars. However, as passenger cars have recently become larger and SUVs (Sports Utility Vehicles) are being popularized, they fail to make a U-turn in one attempt. This causes a traffic jam and a problem with traffic safety.

This study proposed, compared, and tested the measured values of actual differences in the turning radius of U-turn by actual cars with estimated values by using PC-Crash, a car accident simulation program. Then, the study forecasted the turning radius of U-turns of Korean passenger cars by using PC-Crash, and proposed appropriate breadth for U-turn setup.

I. 서론

1. 연구의 목적 및 배경

교통사고는 단일 요인에 의해 발생하는 경우는 매우 드물며, 교통사고를 초래한 상황을 살펴보면 다양한 요인들이 복합적으로 상호 작용하여 사고가 발생됨을 알 수 있다. 또한 사고에 선행하는 각 상황들은 각기 독특한 것이며 모든 사고는 유일한 것이다. 교통사고 발생시 각 상황에서의 요인들은 기본적으로 사람과 자동차 그리고 도로환경 등의 요인들로 구성되어 있으며, 이들 요인들에 대한 보다 다양하고 심층적인 조사와 분석을 통해 사고 발생 공통요인을 찾아내어 사전에 제거함으로써 유사한 형태로 재발되는 사고를 예방하는 노력이 매우 중요하다고 할 것이다.

교통사고를 야기시키는 교통 혼잡은 대표적인 도시문제로 거론되어 왔으며, 특히 도시 지역의 이러한 교통 혼잡은 대부분 신호교차로에 산재해 있다.

이러한 신호교차로의 교통 혼잡을 조금이나마 해소하기 위해 현재 전국 도시지역 편도 3차로 이상의 많은 주요교차로에서 U-turn을 허용하고 있다. 이는 진행 방향 반대측의 토지이용을 위한 진입 차량에 대한 편의를 제공하며 교차로에서 좌회전 금지에 따른 기타 방향으로의 보다 많은 신호시간 부여로 차량의 소통효율을 향상시키는 역할을 하고 있다.

이러한 U-turn 설치 가능한 최소폭원을 「교통안전시설 실무편람규정, 2000, 도로교통공단」에서는 '편도 폭 9m 이상'의 지점에 설치 가능하며 U-turn 허용차량은 승용차로 제한하는 것을 원칙으로 하도록 규정하고 있다. 그러나 최근 대형화된 승용차와 보편화된 SUV(sports utility vehicle)차량이 한번에 U-turn에 실패하면서 교통소통과 교통안전에 문제를 야기시키고 있다. 또한 일부 지점에서는 부득이하게 버스와 화물차 등과 같은 대형차량의 U-turn도 허용하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 운행되고 있는 차량들의 실제 U-turn시 사용되는 최소폭원을 조사하고 이러한 최소폭원에 영향을 미치는 차량의 제원을 알아보고 보다 원활하고 안전한 U-turn 설치를 위한 적정 폭원의 기준으로 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 분석 방법은 우선적으로 실차 실험값과 교통

사고 재현 프로그램인 PC-Crash의 시뮬레이션을 이용한 예측값을 비교 검토한다. 또한 PC-Crash를 이용하여 각 제원의 변화에 따른 U-turn 회전반경의 변화를 분석한 후, U-turn 회전반경에 영향을 미치는 제원을 파악하여 그에 따른 U-turn 회전반경을 예측하고, U-turn 설치를 위한 기준을 제시하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. 기존 연구 검토

차량이 U-turn을 실행함에 있어서 기하구조 조건과 신호조건 그리고 교통조건 등 여러 가지 조건들의 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 조건들에 의해 그동안 U-turn에 관한 많은 연구들이 수행되었다.

이정환과 박제진, 하태준(2008)은 첫째, 교통량과 주행속도를 주요 변수로 하여 차량의 정지시거와 좌회전차량들의 대기행렬길이를 고려한 U-turn 허용구간과 전방교차로와의 적정 이격거리를 산정하였으며 둘째, 현장 조사를 통해 실제 U-turn 차량의 행태를 분석하여 상충 행태를 분류하고 상충과 U-turn 허용구간의 길이와의 관계분석을 통해 차로변경각도와 주행속도를 변수로 하여 U-turn 허용구간의 길이를 산정하였다. 마지막으로 U-turn 허용구간과 후방교차로의 거리는 교통량과 주행속도, 차로변경각도를 주요변수로 하여 간격수탁이론을 통해 적정이격거리를 산정하였으며 이러한 연구들을 통해 소통과 안전을 고려한 U-turn 허용구간의 적정길이 및 위치를 제시하였다.

박호현(2007)은 U-turn 허용구간의 교통상충분석에 관한 연구에서 현장조사를 통한 실제 운전자의 행태와 설계자동차의 궤적에 따른 U-turn 허용구간 기준제시가 필요하다고 하였다. 그리고 실제 U-turn 차량 및 각 방향의 주변차량 교통량 등에 따른 교통조건, 운영속도와 신호주기 등에 따른 운영상의 조건, 차로폭과 차로수, 대향차로의 도류화시설과 변속차로 유무에 따른 도로조건 등을 고려하여 U-turn 허용구간 기준제시가 필요하다고 하였다.

백승민(2003)은 U-turn이 허용된 좌회전 차로에서 U-turn이 좌회전 포화교통량에 미치는 영향에 대한 연구에서 U-turn 비율에 따른 좌회전 포화교통류율의 산정식을 도출하였으며, U-turn 교통류의 유출부가 비교적 넓은 4차로에서는 U-turn 차량과 우회전 차량의 상

충이 거의 일어나지 않는 반면에, 유출부의 차로수가 3개인 경우에는 U-turn 차량과 우회전 차량의 상충이 불가피하게 되므로 U-turn 차량 뒤에 있는 교통류에 영향을 미치게 되므로 U-turn 교통류의 유출부 차선수가 3차로인 경우에는 아주 적은 U-turn 비율에서도 포화교통류율이 급격히 감소한다고 하였다.

2. U-turn의 설치기준 및 현황 검토

U-turn이란 도로위에서 주행 중인 자동차가 “U”자 모양으로 돌아 방향을 바꾸는 것을 의미한다. U-turn은 도로를 주행하는 운전자의 편의를 제공할 뿐 아니라 적절한 운영을 통해 소통효율을 향상시킬 수 있다는 장점이 있어서 많은 간선도로상에서 설치하여 운영하고 있다.

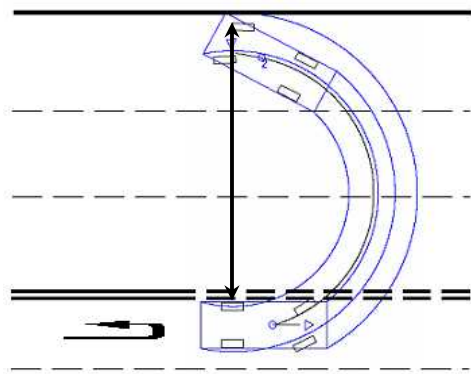
이러한 U-turn은 현재 대향차로의 폭이 9m이상인 도로에서 설치하여 운영하고 있으며, 허용차량은 가급적 승용차로 제한하고 있다.

U-turn 회전반경이란 <그림 1>에서와 같이 차량이 U-turn시 실제로 사용되는 대향차로의 폭으로 U-turn하기 직전, 차량의 중앙선 방향 가장 안쪽부분에서 U-turn 후 차량의 중앙선에서 가장 먼 부분까지의 폭이다.

이러한 U-turn의 설치에 대한 기준은 「교통안전시설 실무편람, 2000, 도로교통공단」에서 <표 1>과 같이 제시하고 있다.

<표 1>에서와 같이 현재 U-turn은 편도 폭 9m 이상의 도로에서 U-turn이 필요하다고 판단되면 주변 교통여건을 감안하여 설치하여 운영하고 있다.

이때, U-turn 허용으로 인한 교통장애 및 사고위험이 예상되는 지점은 제외하며, U-turn을 설치할 때에는 교통안전표지와 함께 설치하도록 하고 있다.



<그림 1> U-turn 회전반경 개념도

<표 1> 교통안전시설 실무편람상의 U-turn 설치기준

구분	내용
제IV장 노면표시 3-2-3 유턴구역선	<ul style="list-style-type: none"> •U-turn구역선은 편도 폭 9m 이상의 도로에서 인접 교차로간 거리 및 신호 주기 등 주변 교통여건을 감안하여 자동차의 U-turn 이 허용된 구간 또는 장소내의 필요한 지점에 설치하여야 한다. •U-turn허용으로 인한 교통장애 및 사고위험이 예상되는 지점은 제외한다. •교통안전표지와 함께 설치하여야 한다.
권장	<ul style="list-style-type: none"> •U-turn구역선의 길이는 승용차 2~3대에 해당하는 12~18m로 하되, 교통량, 차로수, 신호주기 등을 고려하여 결정한다. •U-turn허용차량은 승용차로 제한한다. 다만, 폭원 등 도로여건에 따라 교통안전표지에 의하여 다른 차량의 유턴을 허용한다. •좌회전 전용차로(좌회전 포켓)가 있는 도로에 설치한다.

그리고 U-turn 방법은 교통안전을 위하여 순차적으로 하며, U-turn 허용차량은 회전반경 등을 고려하여 승용차로 제한하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 차로의 폭 원 등 도로여건에 따라 자동차의 회전반경, 차종별 교통량 등을 고려하여 교통안전표지에 의하여 승용차 이외 차량의 유턴을 허용할 수 있다.

또한 U-turn을 하는 자동차는 교통안전표지에 지시된 내용에 따라 반대방향 및 선행차량 그리고 보행자 등의 통행을 방해하지 않는 범위 내에서 U-turn을 하여야 하며, U-turn 표지의 설치는 해당지점에 설치하여야 하나 중앙분리대의 유·무 등 도로여건에 따라 교통신호등 부착대(arm)에 설치할 수 있도록 하고 있다.

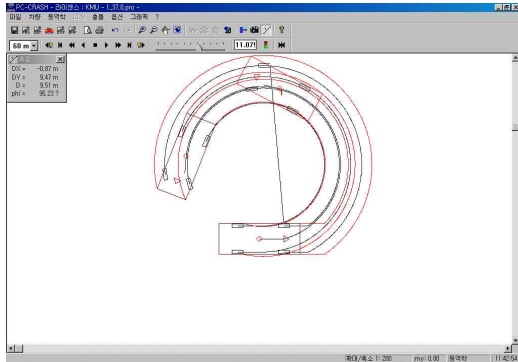
그러나 도로의 물리적 특성 등 교통여건이 충족되는 경우라도 U-turn에 따른 교통장애 및 사고위험이 있는 도로구간이나 지점은 설치하지 않도록 하고 있다.

그러나 법적으로 U-turn의 설치가 가능한 9m 정도만을 확보한 지점에서는 대형화된 승용차와 보편화된 SUV(sports utility vehicle) 차량은 실제로 한번에 U-turn에 어려움을 겪으면서 교통소통과 안전에 문제를 야기시키고 있다.

3. PC-Crash 프로그램의 개요

국내에서는 교통사고 재현 방법이 노면 흔적물에 의존하여 이루어지고 있으며, 노면 흔적물이 없는 교통사고의 경우에는 재현이 불가능하게 된다.

이러한 단점을 보완하기 위해 활용되고 있는 PC-Crash 프로그램은 역적-운동량(impulse-momentum)



<그림 2> 시뮬레이션 실행 모습 및 U-turn 회전반경 측정 방법

이론을 바탕으로 Kudlich와 Slibar(1966)가 제안한 충돌 모델을 이용하여 호주 Graz 대학에서 개발되어 Cliff와 Montgomery(1996)에 의해 실차 실험을 한 결과, 효과가 입증되었으며, 현재 6.2버전까지 발전되어 있는 교통사고 재현 프로그램이다.

충돌환경 변수로는 EES를 기본으로 하는 3차원 모델링 방식이며, 보행자, 추락, 전도사고, 이륜차 사고, 트레일러 사고, 장벽충돌실험, 마디모(MADYMO, Mathematical Dynamic Models), U-turn 등의 사고재현이 가능한 사고사실에 근접한 우수한 프로그램이다.

사고현장의 기초자료 및 차량손상 형태 등을 가지고 사고재현을 해석할 수 있는 프로그램으로 다양한 교통사고에 대한 해석을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 모의실험 할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 운용한다.

이러한 PC-Crash 시뮬레이션을 이용하여 U-turn 회전반경을 측정하기 위해서 먼저 프로그램에 저장되어 측정하고자 하는 차량을 선택하여야 하며 차량 설정 과정에서 차량에 대한 제원을 입력하여야하며 또한 타이어 설정 및 치수, 운전자의 반응시간, 핸들 돌리는 정도 및 돌리는 시간 등을 입력한 후 실행하게 된다.

프로그램을 실행하게 되면 위와 같은 시뮬레이션 화면이 나타나게 되는데, 이때에 <그림 2>에서와 같이 U-turn 회전반경인 U-turn하기 직전, 차량의 중앙선 방향 타이어의 가장 안쪽부분에서 U-turn 후 차량의 중앙선에서 가장 먼 타이어 부분까지의 폭을 측정하게 된다.

III. PC-Crash 시뮬레이션을 이용한 분석 과정

1. 실차 실험을 통한 U-turn 회전반경 실험

국내 차량 가운데 승용차는 뉴 아반떼XD와 SM5 뉴 임프레션, SUV차량은 겔로퍼2(7인승)와 뉴 쏘렌토 등 모두 4가지 차종에 대해서 실차 실험을 실시하였다.

실험 변수로는 U-turn시 회전반경 결정에 가장 많은 영향을 미칠 것으로 예상되는 U-turn 직전의 속도와 핸들조향 정도 그리고 핸들 돌리는 시간 등을 선택하여 실험을 실시하였다.

U-turn 직전 속도의 경우, 완전히 정지한 상태인 0km/h와 일반적인 차량의 U-turn 상태의 대표 속도로 10km/h일 때를 선정하였다.

핸들조향 정도의 경우에는 U-turn 직전 속도가 0km/h와 10km/h의 상태에서 바퀴와 차체가 일직선 상태에서 U-turn을 위해 좌측으로 핸들을 돌릴 수 있는 최대한으로 돌린 상태(MAX)로 바퀴와 차체가 약 32°~39°일 때와 4/5 정도만 돌린 상태(4/5 TURN)로 바퀴와 차체가 약 26°~34°일 때에 대하여 실험을 실시하였다.

핸들 돌리는 시간의 경우에는 U-turn 직전 속도와 핸들조향 정도 등 두 가지 변수 각각의 경우에 대해 U-turn 전에 핸들조향 정도(MAX, 4/5 TURN)까지 걸린 시간이 0초(정지상태에서 핸들조향 정도까지 돌려놓은 상태에서 U-turn 실시)일 때와 1초 및 2초가 걸릴

<표 2> 실차 실험에 의한 차종별 U-turn 회전반경 실험값

연번	U-turn 직전속도 (km/h)	핸들 조향 정도	핸들 돌리는 시간(초)	차종별 평균값(m)				
				뉴아반떼 XD	겔로퍼2 (7인승)	SM5 뉴 임프레션	뉴 쏘렌토	평균
1	0	MAX	0	8.30	10.09	9.71	8.73	9.21
2			8.35	10.16	9.78	8.90	9.30	
3			8.41	10.23	9.82	8.92	9.35	
4		4/5 TURN	0	10.76	13.55	13.73	11.07	12.28
5			10.78	13.58	13.80	11.12	12.32	
6			10.91	13.76	13.82	11.15	12.41	
7	10	MAX	1	9.30	10.54	10.37	9.05	9.82
8			2	9.84	12.09	12.77	10.06	11.19

주) 음영부분은 현재 U-turn 설치시 최소 기준인 9m를 초과하는 값임

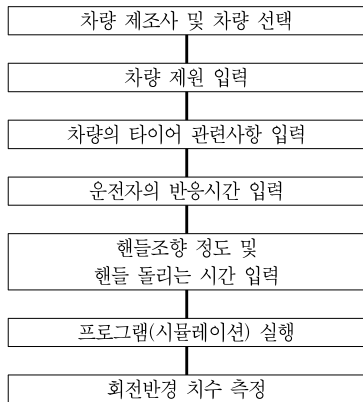
때에 대해 각각 실험을 실시하였다.

U-turn 직진 속도 10km/h에 대해서는 회전반경이 커지며 오차가 많이 발생할 것으로 예상되는 4/5 TURN의 경우는 실시하지 않았으며, 또한 원심력에 의한 안전사고를 우려해 차량속도 10km/h와 핸들조향 정도가 MAX에서의 핸들 돌리는 시간이 0초일 때의 경우는 실험을 실시하지 않았다.

실험 결과, 실차 실험 대상 4개 차종 중 뉴 아반떼XD와 뉴 쏘렌토의 경우 완전히 정지한 상태에서 U-turn을 실시(U-turn 직진 속도가 0km/h)하면서 핸들을 돌릴 수 있는 최대한으로 돌린 상태(MAX)일 때만 현재 설치 최소 기준인 대향차로 폭 9m 미만으로 나타났으며, 나머지 경우에는 모두 9m 이상으로 나타났다.

2. 실차 실험차량 제원을 이용한 PC-Crash 시뮬레이션

실차 실험을 실시한 4종류에 대해 PC-Crash 시뮬레이션에 의한 U-turn 회전반경을 예측하였다.



<그림 3> PC-Crash를 이용한 U-turn 회전반경 시뮬레이션 과정도

U-turn 회전반경을 예측하기 위해서 <그림 3>과 같은 순서에 의해 PC-Crash 프로그램을 수행하였다.

예측 결과, 실차 실험 대상 4개 차종 중 실차 실험 결과와 같이 뉴 아반떼XD와 뉴 쏘렌토가 완전히 정지한 상태(U-turn 직진 속도가 0km/h)에서 U-turn을 실시하면서 핸들을 돌릴 수 있는 최대한으로 돌린 상태(MAX)일 때 현재 U-turn 설치 최소 기준인 대향차로 폭 9m 미만으로 나타났다.

또한, 대부분의 차종에서 실차 실험 결과와 같이 U-turn 직진속도(km/h)가 0km/h일 때 핸들을 돌릴 수 있는 최대한으로 돌린 상태(MAX)에서 U-turn을 실시하는 경우가 그 외의 경우와 비교하여 U-turn 회전반경이 가장 작게 나타났다.

3. U-turn 회전반경의 실험값과 예측값의 비교 검정

4개 차종의 실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프로그램을 이용한 예측값이 서로 유사한지를 비교 검정하기 위해서 대응표본 검정과 χ^2 검정을 적용하였다.

대응표본 검정에서 귀무가설(H_0)이 '실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프로그램에 의한 예측값과는 서로 유사하다.'일 때 대립가설(H_1)인 '실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프로그램에 의한 예측값과는 서로 유사하지 않다'이다.

검정 결과, t값은 1.990이고, 유의확률이 0.055이므로 유의수준 0.05에서 귀무가설을 채택하여 실험 대상 4개 차량 전체에 대한 실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프로그램에 의한 예측값과는 서로 유사하다고 볼 수 있다.

χ^2 검정을 위해 설정되는 가설에서도 대응표본 검정에서와 같이 귀무가설(H_0)이 '실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프로그램에 의한 예측값과는 서로 유사하

<표 3> 조사차량 제원을 이용한 U-turn 회전반경의 PC- Crash 시뮬레이션 예측값

연번	U-turn 직진속도 (km/h)	핸들 조향 정도	핸들 돌리는 시간(초)	차종별 평균값(m)				평균
				뉴아반떼 XD	겔로퍼2 (7인승)	SM5 뉴 임프레션	뉴 쏘렌토	
1	0	MAX	0	8.64	10.64	9.62	8.89	9.45
2			8.67	10.69	9.65	8.96	9.49	
3			8.69	10.71	9.68	8.99	9.52	
4		4/5 TURN	0	10.26	13.03	12.03	10.68	11.50
5			10.30	13.06	12.06	10.69	11.53	
6			10.32	13.07	12.09	10.72	11.55	
7	10	MAX	1	9.44	10.23	9.95	8.96	9.65
8			9.98	11.59	11.36	9.72	10.66	

주) 음영부분은 현재 U-turn 설치시 최소 기준인 9m를 초과하는 값임

<표 4> 대응표본 상관계수

구분	N	상관계수	유의확률
대응 1 실험값 & 예측값	32	.952	.000

구분	대응차				t	자유도	유의 확률 (양측)	
	평균	표준 편차	평균의 표준 오차	차이의 95% 신뢰구간				
				하한				상한
대응 실험값-1 예측값	.2356	.67247	.11888	-.00589	.47901	1.990	31	.055

다.일 때, 대립가설(H_1)인 '실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프로그램에 의한 예측값과는 서로 유사하지 않다'이다. 여기서 95%의 유의수준에서 기각역이 χ^2 합계보다 크고 p값이 유의수준인 0.05보다 큰 경우에 귀무

<표 5> 실험값과 예측값의 χ^2 검정 결과

구분	전체
χ^2 검정	유의수준
	자유도
	p
	χ^2
	기각역
	검정합수
결과	실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프로그램에 의한 예측값이 유사함

가설을 채택하여 실험 대상 4개 차량 전체에 대한 실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프로그램에 의한 예측값과는 서로 유사하다고 볼 수 있다.

이와 같이 실차 실험에 의한 실험값과 PC-Crash 프

<표 6> 국내 승용차의 U-turn 회전반경 예측 결과

구분	CASE	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	평균	
		0 km/h									
		MAX				4/5 TURN					
	U-turn 직전속도	MAX								10 km/h	
	핸들조향 정도	MAX								MAX	
	핸들 돌리는 시간	0초	1초	2초	0초	1초	2초	1초	2초		
GM 대우	1	뉴 마티즈	7.98	8.01	8.04	9.17	9.20	9.23	8.37	8.99	8.62
	2	누비라2	8.96	8.99	9.05	10.28	10.31	10.34	9.29	9.87	9.64
	3	뉴 라세티	9.08	9.11	9.14	10.40	10.43	10.46	9.38	10.01	9.75
	4	라노스2	8.70	8.73	8.76	10.01	10.04	10.07	9.08	9.65	9.38
	5	젠트라X	8.67	8.70	8.73	9.98	10.01	10.04	9.05	9.62	9.35
	6	뉴 칼로스	8.67	8.70	8.73	9.98	10.01	10.04	9.05	9.62	9.35
	7	뉴 라세티	9.05	9.08	9.11	10.10	10.43	10.46	9.41	9.95	9.70
	8	레간자	9.23	9.29	9.35	10.67	10.70	10.73	9.65	10.19	9.98
	9	매그너스	9.41	9.44	9.47	10.76	10.79	10.82	9.77	10.28	10.09
	10	스테이즈맨	10.10	10.13	10.16	11.65	11.68	11.71	10.40	10.97	10.85
쌍용	11	뉴 제이맨	10.01	10.04	10.07	11.44	11.47	11.50	10.25	10.76	10.69
르노 삼성	12	뉴 SM3	8.84	8.87	8.90	10.19	10.22	10.25	9.20	9.83	9.54
	13	SM5 뉴 임프레션	9.62	9.65	9.68	12.03	12.06	12.09	9.95	11.36	10.81
	14	SM7 플래저 에디션	9.59	9.62	9.65	11.03	11.06	11.09	9.98	10.49	10.31
기아	15	뉴 프라이드	8.72	8.75	8.78	10.04	10.07	10.10	9.08	9.65	9.40
	16	리오 SF	8.40	8.43	8.46	9.65	9.68	9.71	8.78	9.38	9.06
	17	비스토	8.31	8.34	8.37	9.53	9.56	9.59	9.64	9.26	9.08
	18	뉴 모닝	8.28	8.31	8.34	9.50	9.53	9.56	8.61	9.23	8.92
	19	뉴 스펙트라	8.93	8.96	8.99	10.22	10.25	10.28	9.23	9.80	9.58
	20	로체 이노베이션	9.41	9.44	9.47	10.88	10.91	10.94	9.80	10.34	10.15
	21	뉴 쉐라토	9.05	9.08	9.11	10.43	10.46	10.49	9.41	9.98	9.75
	22	뉴 옵티마	9.38	9.41	9.44	10.79	10.82	10.85	9.77	10.25	10.09
	23	크레도스2	9.23	9.26	9.29	10.61	10.64	10.67	9.59	10.13	9.93
	24	엔터프라이즈	9.83	9.86	9.89	11.26	11.29	11.32	10.19	10.67	10.54
	25	뉴 오피러스	9.74	9.77	9.80	11.15	11.18	11.21	10.10	10.64	10.45
현대	26	뉴 베르나	8.46	8.49	8.52	9.74	9.77	9.80	8.84	9.44	9.13
	27	아토스 EUROPA	8.28	8.31	8.34	9.44	9.47	9.50	8.61	9.23	8.90
	28	엑센트	8.43	8.47	8.50	9.65	9.68	9.71	8.75	9.35	9.07
	29	뉴 클릭	8.58	8.61	8.64	9.89	9.92	9.95	8.90	9.50	9.25
	30	NF 쏘나타 N20	9.47	9.50	9.53	10.91	10.94	10.97	9.86	10.37	10.19
	31	뉴 아반떼 XD	9.05	9.08	9.11	10.37	10.40	10.43	9.44	9.98	9.73
	32	아반떼 HD	8.64	8.67	8.69	10.26	10.30	10.32	9.44	9.98	9.54
	33	마르샤	9.32	9.35	9.38	10.79	10.82	10.85	9.74	10.25	10.06
	34	i30	9.23	9.26	9.29	10.67	10.70	10.73	9.59	10.16	9.95
	35	그랜저 TG	9.44	9.47	9.50	10.97	11.00	11.03	9.89	10.43	10.22
	36	다이너스티	9.53	9.56	9.59	10.94	10.97	11.00	9.86	10.40	10.23
	37	뉴 에쿠스	9.89	9.92	9.95	11.32	11.35	11.38	10.25	10.76	10.60
	38	티뷰론 터블런스	8.61	8.64	8.67	9.92	9.95	9.98	8.96	9.56	9.29

주) 음영부분은 현재 U-turn 설치시 최소 기준인 9m를 초과하는 값임

로그래에 의한 예측값과의 상관관계에 대한 검정 결과, 그 값이 서로 유사하게 나타났다.

따라서, PC-Crash 프로그램의 예측값이 실제 차량의 U-turn 회전반경 예측에 적합한 것으로 판단된다.

4. 국내 차량에 대한 U-turn 회전반경 예측

PC-Crash 프로그램을 이용하여 U-turn 회전반경 예측을 위해서 현재 국내 승용차(SUV차량 포함)와 일부 버스 및 화물 등 대형차량에 대해서 제원을 조사하였

다. 특히, U-turn 회전반경에 가장 밀접하게 연관되어 있다고 판단되는 차량길이, 차량폭, 차축(앞, 뒤), 축거 등에 대해서 제원을 수집하였다.

조사된 국내 차량에 대한 제원을 가지고 PC-Crash 프로그램을 이용하여 U-turn 회전반경을 예측하였으며, 그 결과를 <표 6>에 나타내었다.

그 결과를 살펴보면, 승용차의 경우 최소 7.98m(뉴 마티즈 CASE I)~최대 11.71m(스테이즈맨 CASEVI)로 나타났으며, 각 CASE의 평균값은 8.62m~10.85m로 나타났다.

<표 7> 국내 SUV차량의 U-turn 회전반경 예측 결과 (단위 : mm)

구분	CASE	U-turn 직전속도	0 km/h						10 km/h		평균
			MAX			4/5 TURN			MAX		
			핸들조향 정도		MAX		4/5 TURN		MAX		
			핸들 돌리는 시간		0초	1초	2초	0초	1초	2초	
GM 대우	1	윈스톰(7인승)	9.44	9.47	9.50	10.76	10.79	10.82	9.77	10.31	10.11
현대	2	투싼	9.14	9.17	9.20	10.49	10.52	10.55	9.50	10.07	9.83
	3	싼타페	9.50	9.53	9.56	10.85	10.88	10.91	9.80	10.34	10.17
	4	베라크루즈	9.80	9.83	9.86	11.29	11.32	11.35	10.19	10.67	10.54
	5	그랜스타렉스	11.06	11.09	11.12	12.67	12.70	12.73	11.41	11.86	11.83
기아	6	뉴 카렌스	9.41	9.44	9.47	10.79	10.82	10.85	9.74	10.31	10.10
	7	카니발	10.46	10.49	10.52	12.01	12.04	12.07	10.82	11.29	11.21
	8	스포티지	9.20	9.23	9.26	10.55	10.58	10.61	9.53	10.07	9.88
	9	쏘렌토	9.44	9.47	9.50	10.82	10.85	10.88	9.74	10.28	10.12
르노 삼성	10	모하비	10.04	10.07	10.10	11.53	11.56	11.59	10.37	10.91	10.77
	11	QM5	9.35	9.38	9.41	10.73	10.76	10.79	9.71	10.25	10.05
쌍용	12	렉스턴	9.80	9.83	9.86	11.26	11.29	11.32	10.13	10.64	10.52
	13	카이런	9.50	9.53	9.56	10.88	10.91	10.94	9.80	10.37	10.19
	14	액티언	9.53	9.56	9.59	10.94	10.97	11.00	9.83	10.40	10.23
	15	로디우스	10.28	10.31	10.34	11.89	11.92	11.95	10.64	11.12	11.06

주) 음영부분은 현재 U-turn 설치시 최소 기준인 9m를 초과하는 값임

<표 8> 대형차량의 U-turn 회전반경 예측 결과 (단위 : mm)

구분	CASE	U-turn 직전속도	0 km/h						10 km/h		평균
			MAX			4/5 TURN			MAX		
			핸들조향 정도		MAX		4/5 TURN		MAX		
			핸들 돌리는 시간		0초	1초	2초	0초	1초	2초	
버스 (현대)	e-카운티[25인승]		13.63	13.66	13.69	15.69	15.72	15.75	14.04	14.43	14.58
	e-에어로타운 [34인승]		14.70	14.73	14.76	16.79	16.82	16.85	15.09	15.48	15.65
	슈퍼에어로시티 [시내버스]		17.87	17.90	17.93	20.50	20.53	20.56	18.32	18.65	19.03
	유니버스(노블) [대절버스]		19.96	19.99	20.02	23.09	23.12	23.15	20.38	20.68	21.30
트럭 (현대)	포터(초장축)[1t]		9.14	9.17	9.20	10.55	10.58	10.61	9.56	10.10	9.86
	e-마이티 (슈퍼캡)	2.5t	12.19	12.22	12.25	14.04	14.07	14.10	12.55	12.97	13.05
		3.5t	12.55	12.58	12.61	14.55	14.58	14.61	12.97	13.39	13.48
	메가트럭(장축) [5t]		14.19	14.22	14.25	16.34	16.37	16.40	14.55	14.91	15.15
	4x2카고[8t]		20.41	20.44	20.47	23.57	23.60	23.63	20.85	21.03	21.75
	6x4 카고	9.5t	21.78	21.81	21.84	25.31	25.34	25.37	22.23	22.47	23.27
		11.5t	22.41	22.44	22.47	26.05	26.08	26.11	22.77	23.07	23.93
		15t	22.59	22.62	22.65	26.11	26.14	26.17	22.94	23.25	24.06
	8x4카고[19t]		26.53	26.56	26.59	30.78	30.81	30.84	26.89	27.13	28.27
	10x4카고[25t]		26.53	26.56	26.59	30.78	30.81	30.84	26.95	27.19	28.28
	믹서(7m)		16.97	17.00	17.03	18.89	18.92	18.95	17.33	17.69	17.85
	덤프	8t	12.31	12.34	12.37	14.70	14.73	14.76	12.85	13.33	13.42
15t		15.42	15.45	15.48	17.93	17.96	17.99	15.78	16.17	16.52	
24t		20.56	20.59	20.62	23.46	23.49	23.52	21.10	22.47	21.98	

CASE I ~Ⅷ에 대해서 회전반경을 1.0m씩 계급을 구분하여 각각의 계급에 대한 비율을 살펴본 결과, U-turn 직전속도가 0km/h 이면서 핸들조향 정도가 MAX 상태인 CASE I ~Ⅲ의 경우 약 55%, U-turn 직전속도가 10km/h 이면서 핸들조향 정도가 MAX 상태인 CASE Ⅶ와 Ⅷ의 경우 약 79%와 97%가 현재 U-turn 설치 최소 기준인 대향차로 폭 9m 이상으로 나타났다.

U-turn 직전속도가 0km/h 이면서 핸들조향 정도가 4/5 TURN 상태인 CASE IV~Ⅵ의 경우는 예측 조사 차량이 모두 현재 U-turn 설치 최소 기준인 대향차로 폭 9m 이상으로 나타났다.

또한 SUV차량의 경우 최소 9.14m(투싼 CASE I)~최대 12.73m(그랜드 스타렉스 CASEⅥ), 각 CASE의 평균값은 9.83m~11.83m로 나타났으며, SUV차량은 CASE I ~Ⅷ 모두 U-turn 설치 최소 기준인 대향차로 폭 9m 이상으로 나타났다.

그리고 일부 지점에서는 부득이하게 버스와 화물차 등과 같은 대형차량의 U-turn도 허용하고 있는 실정이다. 이에 따라 대형차량의 각 차종별 대표 차량을 선정하여 PC-Crash 프로그램을 이용한 U-turn 회전 반경을 예측하였으며, 그 결과를 <표 7>에 나타내었다.

IV. 민감도 분석

민감도 분석(Sensitivity Analysis)은 주어진 입력값이 부분적으로 변함에 따라 결과값이 어느 정도 민감하게 영향을 받는지를 분석하는 것으로 PC-Crash 프로그램에서 적용된 변수값들의 민감도를 파악하기 위해 실시하였다. 예측된 U-turn 회전반경에 대해서 적용된 각각의 변수들을 대상으로 민감도 분석을 실시하였다.

민감도 분석은 크게 운전자 행태에 대한 분석과 차량 제원에 대한 분석으로 구분하여 실시하였다. 이러한 민감도 분석에 사용된 차량은 현대의 NF 쏘나타 N20의 제원을 적용하였다.

1. 운전자 행태에 대한 분석

운전자 행태에 대한 민감도 분석은 PC-Crash 예측에서 사용된 변수인 U-turn 직전속도, 핸들조향 각도, 핸들 돌리는 시간 등의 값을 변화시켜 실시하였다.

그 결과, U-turn 회전반경이 U-turn 직전속도에는 1km/h당 약 0.05m, 핸들조향 정도에는 1°당 약 -0.25m,

그리고 핸들 돌리는 시간에는 1초당 약 0.03m 정도 변화가 있는 것으로 나타났다.

2. 차량 제원에 대한 분석

차량 제원에 대한 민감도 분석은 분석을 실시하는 제원에 대해서만 변화시켜 분석을 실시하였으며, 이때 운전자 행태에 따른 변수는 U-turn 직전속도 0km/h, 핸들조향 정도 MAX, 핸들 돌리는 시간 0초(CASE I)로 모두 동일한 조건에서 분석을 실시하였다.

그 결과, U-turn 회전반경이 수집된 차량의 제원들 중 앞 차축(m)과 축거(m)에 대해서만 변화가 있는 것으로 나타났으며, 앞 차축(m)에는 0.1m당 약 0.05m, 축거(m)에는 0.1m당 약 0.34m 정도 변화가 있는 것으로 나타났다.

V. 결론

연구결과를 종합해보면, 운전자 행태에 따른 3가지 변수에 의한 8가지 CASE들의 U-turn 회전반경 평균값이 총 38개의 국내 승용차 중 현재 U-turn 설치 최소 기준인 대향차로 폭 9m 미만은 17개 차종으로 44.7%로 나타났으며, 나머지 21개 차종인 55.3%가 9m보다 더 큰 것으로 나타났다.

그리고 SUV차량 15개 차종은 모두 현재 U-turn 설치 최소 기준인 대향차로 폭 9m보다 큰 것으로 나타났다.

또한 민감도 분석 결과, 운전자 행태에서는 PC-Crash 분석에서 변수로 사용된 U-turn 직전속도, 핸들조향 정도, 핸들 돌리는 시간 등 3가지 모두가 U-turn 회전반경에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 차량 제원에서는 앞 차축(m)과 축거(m)가 U-turn 회전반경에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이에 따라 U-turn을 실행하는 모든 승용차의 보다 원활하고 안전한 U-turn을 위해 U-turn 설치를 위한 적정 폭원으로 9m보다 더 넓은 최소 10m(스테이츠맨 CASE I 예측값 10.10m) 정도의 폭원이 필요할 것으로 판단되며, 승합차의 U-turn도 허용할 경우에는 더 넓은 폭원의 추가확보가 필요할 것으로 판단된다.

또한, 일부 지점에서 부득이하게 버스와 화물차 등과 같은 대형차량에 대해서 U-turn을 허용할 때에는 대향차로의 폭원을 고려해야 할 것으로 판단된다.

그리고 민감도 분석 결과에 따라 보다 효과적이고 안

