

■ 論 文 ■

## 차량간 안전거리를 고려한 차로변경 모형개발

Development of Lane Changing Model with regard to Safety Distance of Vehicles

최 지 은

(부경대학교 위성정보과학과 석사과정)

류 병 용

(부경대학교 위성정보과학과 박사과정)

배 상 훈

(부경대학교 위성정보과학과 교수)

강 승 필

(서울대학교 건설환경공학부 교수)

### 목 차

- |  |  |
|--|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구배경 및 목적</p> <p>2. 연구 수행 절차</p> <p>II. 문헌고찰</p> <p>III. 차로변경 모형 개발</p> <p>1. 저속차로에서 고속차로로 차로변경</p> | <p>2. 고속차로에서 저속차로로 차로변경</p> <p>IV. 차로변경 모형 검증</p> <p>1. 시나리오별 시뮬레이션</p> <p>2. 시뮬레이션 수행결과</p> <p>V. 결론 및 향후연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--|--|

Key Words : 차로변경, 안전거리, 충돌회피, 운전자지원시스템, 첨단차량 및 첨단도로 시스템

Lane changing, Safety distance, Collision avoidance, Driver assistance system, AVHS

### 요 약

90년대 교통 시설의 이용효율성 및 안전을 제고하고자 ITS가 도입되었다. 최근 정보통신기술의 발달로 인해 첨단차량 및 도로에 대한 관심이 급증하고 있다. 차량제어모형 중 차로변경모형은 중요한 요소이지만 기존의 연구에서는 대상차량이 등속주행 상황에서 차로변경 여부를 판단하므로 실제적용에 한계성을 가진다. 따라서 본 연구에서는 차로변경 시 대상차량의 가감속을 통해 주위차량 간 안전성을 판단하여 차로변경을 수행하였다. 본 연구에서 개발된 차로변경모형의 적합성을 검증하고자 시나리오별 시뮬레이션을 수행하였다. 수행 결과, 목표차로의 선행차량을 추월하여 현차로의 선행차량과의 차간거리가 안전거리 이상이면 차로변경을 하였다. 또한, 현차로의 선행차량과의 차간거리가 안전거리 이하이면 목표차로의 선행차량, 후행차량과의 차간거리를 고려하여 차로변경을 적절히 수행하는 것으로 나타났다. 이러한 차로변경 모형은 안전주행 지원시스템, 자동운행시스템에 활용되어 첨단차량 및 첨단도로 시스템 분야 발전에 기여할 것으로 사료된다.

The conventional lane changing model has been developed without acceleration or deceleration of vehicles at target lane. Thus, existing lane changing models have limitation to apply in real world. In this paper, lane changing model considered acceleration or deceleration, and calculated the safety distance between subject vehicle and adjacent vehicles for lane changing as well. Simulation was conducted to verify the validity and the efficiency of the developed lane changing model in this paper. Several scenarios were carefully examined by safety distance between subject vehicle and adjacent vehicles. In the result, it was verified that if gap between subject vehicle and adjacent vehicles is larger than safety distance, lane changing behavior between subject vehicle and adjacent vehicles avoids collision. The suggested lane changing model may be applied at the future driver assistance system and advanced safety vehicle.

이 논문은 2008학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음 (PS-2008-PS-2008-042)

# I. 서론

## 1. 연구 배경 및 목적

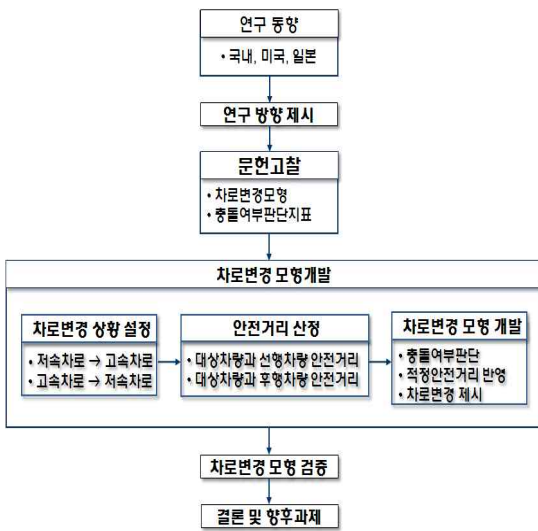
현대사회는 급격한 차량증가와 도로의 용량부족으로 인하여 교통정체 및 사고, 환경오염과 같은 문제를 야기하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 90년대 교통 이용편의 및 안전을 제고하고자 ITS가 도입되었으며, 2007년도에는 국가 R&D 사업으로 스마트 하이웨이 연구가 시작되었다. 이로 인해 첨단차량 및 첨단도로 연구에 대한 관심이 급증하고 있으나 차량 제어를 위한 알고리즘의 개발은 미비한 실정이다.

첨단차량의 제어 기술 중 하나인 차로변경 모형은 운전자에게 주변 차량의 흐름을 파악하여 안전하고 신속하게 차로변경이 가능하도록 지원해주는 모형이다.

따라서 본 연구에서는 첨단차량의 제어 기술 중 하나인 차로변경 모형을 속도에 따른 선행차량과 후행차량간의 차간거리를 고려하여 차로변경을 수행하고자 개발하였다. 차로변경 시 선행차량이 감속을 하더라도 추돌하지 않는 최소차간거리, 후행차량이 가속을 하더라도 추돌하지 않는 최소차간거리를 산정하여 안전하게 차로변경을 하도록 모형을 개발하였다.

## 2. 연구 수행 절차

본 연구를 수행하기 위한 절차는 다음과 같다.



<그림 1> 연구 수행 흐름도

# II. 문헌고찰

최재성 외(2001)는 고속도로 합류부의 교통 특성을 분석하고자 모든 교통류 상태에 대한 임계차두간격의 산출 원리를 제시하고 도출된 임계차두간격을 통해 최대 진입 가능 교통량 및 합류부의 최대 통과 교통량을 산출하였다. 다양한 교통류 상태에 대해서 임계차두간격을 산출함으로써 교통류 분석을 제공하였다. 그러나 본선 속도가 낮은 상황에서 대상차량의 속도는 고려하지 않고 본선의 차량속도만 고려하여 임계 차두간격을 산출하고 가감속 없이 차로변경이 이루어지므로 현실적인 면에서 한계성을 가진다.

Takashi Wakasugi(2005)는 차로변경 시 운전자 특성에 따른 적합한 LCDAS(Lane Change Decision Aid Systems)의 경고시간을 산출하였다. 현장관측을 통해서 차로변경을 하고자 하는 대상차량과 목표차로 상에서 주행 중인 후행차량간의 차두간격에 의한 추돌예상 시간인 TTC (Time to collision)를 분석하였다. 운전자의 개별특성에 따라 TTC가 다르게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

Miyoung BIN 외(2003)는 위빙구간에 차로변경하기 위해서 대상차량은 주변 차량들과의 추돌여부를 판단한 후 판별분석을 통해서 가감속을 수행하는 모형과 회귀분석을 통해서 운전자 가감속도를 제시하고자 하였다. 또한, 운전자의 안전성과 도로효율성을 모형에 포함시켜 제어시스템에 적용하고자 연구되었다. 그러나 이 실험에는 미시적 시뮬레이션의 내용이 포함되지 않은 한계점이 있다.

Lingxi Li 외(2002)는 고속도로에 적용 가능한 차로변경 모형을 개발하였다. 같은 도로 위를 주행하고 있는 각각의 차량들에게 다른 차량들의 목표속도, 현재속도, 차량제원 등의 정보를 제공하여 차량들이 자기 차량의 속도에 알맞은 차로를 찾아가도록 차로변경을 유도하였다. 이는 차량들의 전체적인 속도가 증가하게 되어 도로의 효율성을 높여 도로 용량을 확대시키는 방안을 제시하였다.

Jose L. Bascunana(1995)는 차로변경을 할 때 목표차로의 후행차량을 고려하여 추돌여부에 대한 모형을 개발하였다. 저속차량이 고속차량의 앞으로 차로변경하는 경우와 뒤로 차로변경하는 경우에 추돌여부를 판단하였다. 또한, 고속차량이 저속차량의 앞으로 차로변경하는 경우와 뒤로 차로변경하는 경우에 추돌여부를 판단하였다. 이 모형은 대상차량과 목표차로의 후행차량만을 고려함으로써 차로변경 시 다른 영향인자를 고려하지 않

은 한계성을 가진다.

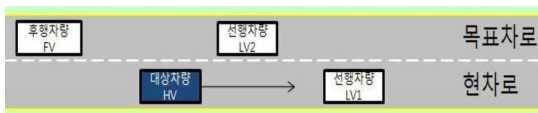
기존의 차로변경에 대한 연구는 선행차량과 후행차량이 가감속을 하지 않고 등속도로 주행하는 것으로 가정하여 충돌여부에 대한 안전거리를 산정하였다. 최소 유지 차간 거리라는 고정된 값을 추가하더라도 충돌은 피할 수는 있으나 상대속도별로 요구되는 안전거리가 아니므로 현실적인 차로변경상황을 잘 반영하지 못한다. 따라서 대상차량이 가감속을 하여 차량 간의 안전거리가 확보되었는지 판단한 후 차로변경이 이루어져야한다. 또한 안전거리는 차량들의 이동거리 차가 아닌 주변차량들이 가감속을 하더라도 충돌하지 않는 거리로 산정될 필요성이 있다.

그러므로 본 연구에서는 대상차량이 차로를 변경하고자 할 때, 먼저 주위 차량의 간격과 속도 등을 파악한다. 등속주행 중 차로변경을 위한 안전거리가 확보되지 않으면, 대상차량은 가속과 감속을 통하여 안전공간을 확보하여 차로변경의 가능성을 판단하게 된다. 또한 안전공간을 확보한 상태에서 선행차량이 감속을 하거나 후행차량이 가속을 하더라도 차량이 충돌하지 않는 최소한의 안전거리를 산정하여 보다 현실적인 차로변경을 수행하도록 모형을 제시하였다.

### III. 차로변경 모형 개발

본 연구에서는 저속차로에서 고속차로로 차로를 변경하는 상황과 고속차로에서 저속차로로 변경하는 상황을 구분하여 모형을 개발하였다. 저속차로에서 고속차로로 차로변경하는 상황은 저속차량이 목표 속도로 주행하기 위해 고속차량이 주행하는 차로로 변경하는 상황이다. 고속차로에서 저속차로로 변경하는 상황은 고속차로에서 주행 중 공사구간, 중차량의 시야 방해 등으로 부득이하게 차로를 변경하거나, 고속도로를 진출하기 위하여 저속차량이 주행하는 차로로 변경하는 상황을 의미한다. 따라서 각각의 상황에서 안전거리를 고려한 차로변경 모형을 개발하였다.

차로변경을 위해 적용된 초기상황인 대상차량(HV)과 현차로의 선행차량(LV1), 목표차로의 선행차량(LV2)과 후행차량(FV)의 관계는 <그림 2>와 같다.



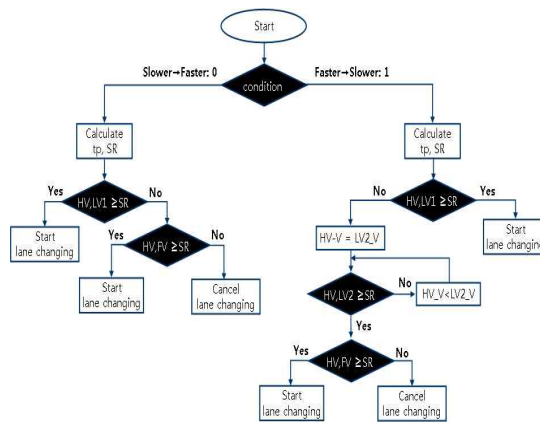
<그림 2> 차로변경 개념도

본 연구에서는 안전거리 산정을 위하여 Miyoung BIN 등 (2003)이 제시한 후방추돌지표인 PICUD(Potential Index for Collision with Urgent Deceleration)의 개념을 반영하였다. PICUD는 차로변경하는 상황에서 목표차로의 선행차량이 급제동을 했을 경우, 대상차량이 목표차로의 선행차량과 충돌하지 않는 최소한의 거리를 산정하여 충돌여부를 판단한다. 따라서 본 연구에서는 차로변경시 현차로의 선행차량이 감속을 하거나 목표차로의 후행차량이 가속을 하더라도 충돌하지 않는 안전거리를 산정하고자 하였다. 본 연구에서 적용된 감속은  $-3m/s^2$ 이고 가속은  $2m/s^2$ 으로 설정하였다. PICUD는 식(1)과 같이 표현된다.

$$PICUD(m) = \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2\alpha} + S_0 - V_2\Delta t \tag{1}$$

- $V_1$  : 선행차량의 속도
- $V_2$  : 후행차량의 속도
- $\alpha$  : 감속도
- $S_0$  : 선행차량과 후행차량간의 차간거리
- $\Delta t$  : 운전자 반응시간

<그림 3>은 고속차로 및 저속차로로 차로를 변경하기 위하여 적용된 모형의 흐름도를 나타낸다. 각 상황에 따라 HV와 현차로의 선행차량(LV1)과의 차간거리가 차로변경시 안전거리 이상이면 LV2 앞으로 차로변경을 하게 된다. 그렇지 않을 경우, HV는 LV2와 목표차로의 후행차량(FV)사이로 차로변경하기위해서 HV와 FV간의 차간거리, HV와 LV2간의 차간거리를 고려하여 차로변경을 수행하도록 하였다.



<그림 3> 차로변경 흐름도

1. 저속차로에서 고속차로로 차로변경

1) 목표차로의 선행차량 앞으로 차로변경

대상차량(HV)이 고속차로로 차로변경을 하고자 하지만 목표차로의 선행차량(LV2)과의 여유공간이 부족하여 HV가 가속을 하여 LV2를 추월한 후 차로변경 가능한 공간을 확보한다. 또한 차로변경 시 HV와 LV1 간의 초기 차간거리가 안전거리보다 크면 차로변경을 수행하는 것으로 설정하였다.

HV가 LV2를 추월하는데 필요한 시간( $t_p$ )을 산정하는 식은 다음과 같다.

$$V_{HV} \times t_p + \frac{1}{2} \times a \times t_p^2 = V_{LV2} \times t_p + HS_{LV2} + l$$

$$\frac{1}{2} \times a \times t_p^2 + (V_{HV} - V_{LV2}) \times t_p - (HS_{LV2} + l) = 0$$

$$t_p = \frac{-(V_{HV} - V_{LV2}) + \sqrt{(V_{HV} - V_{LV2})^2 + 4(\frac{1}{2}a(HS_{LV2} + l))}}{a} \quad (2)$$

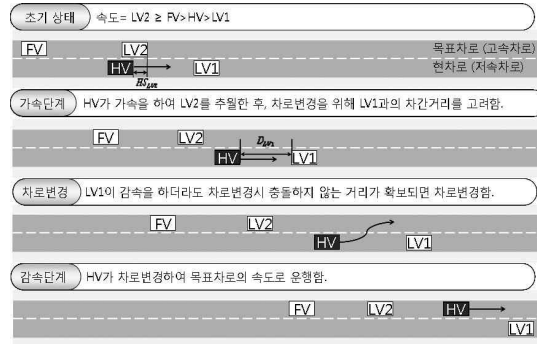
- $V_{HV}$  : 대상차량(HV)의 속도
- $V_{LV2}$  : 목표차로의 선행차량(LV2) 속도
- $l$  : 차량의 길이
- $a$  : 가속도
- $HS_{LV2}$  : HV와 LV2 간의 차두거리
- $t_p$  : HV가 LV2를 추월하기 위해 필요한 시간

HV가 가속을 하여 LV2를 추월한 후 차로변경을 하기 위해서 현 차로의 선행 차량인 LV1과의 차간거리를 고려하여야 한다. HV가 LV2를 추월하는데 걸리는 시간  $t_p$  동안 HV가 이동한 거리는 LV1이 이동한 거리와 초기 차간거리인  $D_{LV1}$ 의 합 보다 작아야 HV와 LV1과의 추돌을 피할 수 있다. 따라서  $t_p$  시간 동안 HV와 LV1 간의 최소여유간격을 계산하여 초기 차간거리인  $D_{LV1}$ 이 크면 추돌을 피할 수 있다. 판별식은 식(3)과 같다.

$$V_{HV} \times t_p + \frac{1}{2} \times a \times t_p^2 < V_{LV1} \times t_p + D_{LV1}$$

$$D_{LV1} > V_{HV} \times t_p + \frac{1}{2} \times a \times t_p^2 - V_{LV1} \times t_p \quad (3)$$

- $V_{LV1}$  : 현차로의 선행차량(LV1) 속도
- $D_{LV1}$  : HV와 LV1 간의 초기 차간거리



<그림 4> 목표차로의 선행차량 앞으로 차로변경 (저속차로에서 고속차로로 차로변경)

식(3)에서 산출된 HV와 LV1 간의 최소여유간격 확보 후 차로변경을 하는 동안( $t_{LC}$ : 3초) LV1이 감속을 하면 추돌하게 된다. 따라서 HV가 차로변경 시 LV1이 감속을 하더라도 추돌하지 않는 거리를 추가하여야 하며 계산식은 식(4)와 같다. 따라서 HV와 LV1과의 초기 차간거리( $D_{LV1}$ )는  $t_p$  동안 이동한 거리와 산출된 최소안전거리( $SD_{LV1}$ )의 합 이상이어야 추돌을 피할 수 있다. 최종적으로 산출된 LV1과의 추돌 회피 판별식은 식(5)와 같다.

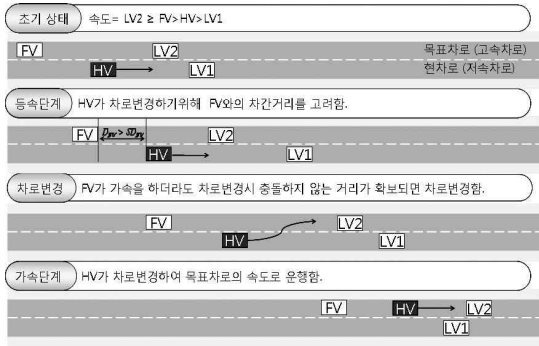
$$SD_{LV1} = (V_{HV}' \times t_{LC}) - (V_{LV1} \times t_{LC} + \frac{1}{2} \times d \times t_{LC}^2) \quad (4)$$

$$D_{LV1} > (t_p \times (V_{HV} + \frac{1}{2} \times a \times t_p - V_{LV1})) + SD_{LV1} \quad (5)$$

- $V_{HV}'$  :  $t_p$  시간에 대상차량(HV) 속도
- $V_{LV1}$  : 현차로의 선행차량(LV1) 속도
- $t_{LC}$  : 차로변경 시 소요되는 시간
- $d$  : 감속도
- $SD_{LV1}$  :  $t_{LC}$  동안 HV와 LV1 간의 최소안전거리

2) 목표차로의 선행차량과 후행차량사이로 차로변경

HV가 가속하여 LV2를 추월한 후 차로변경을 수행할 때 LV1과의 추돌로 인하여 불가능 하다면 HV는 LV2와 FV 사이로 차로변경을 고려하게 된다. 이때 LV2는 HV보다 속도가 높고, LV1 역시 HV 차량이 가속을 하지 않기 때문에 고려 대상에서 제외된다. 따라서 목표차로의 후행차량(FV)과의 차간거리를 고려하여 차로변경을 수행한다. HV와 FV와의 안전거리( $SD_{FV}$ )는 FV가  $t_{LC}$  시간 동안 가속을 하더라도 추돌하지 않은 거리를 산



<그림 5> 목표차로의 선행차량과 후행차량사이로 차로변경 (저속차로에서 고속차로로 차로변경)

정한다. 따라서 초기거리(\$D\_{FV}\$)가 \$SD\_{FV}\$ 보다 크면 차로변경을 수행한다. \$SD\_{FV}\$의 계산식(6)과 같으며, 차로변경 여부는 식(7)을 통하여 판별한다.

$$SD_{FV} = (V_{HV} \times t_{LC}) - (V_{FV} \times t_{LC} + \frac{1}{2} \times a \times t_{LC}^2) \quad (6)$$

$$D_{FV} > SD_{FV} \quad (7)$$

- \$V\_{FV}\$ : 목표차로의 후행차량(FV) 속도
- \$SD\_{FV}\$ : \$t\_{LC}\$ 동안 HV와 FV 간의 최소안전거리
- \$D\_{FV}\$ : HV와 FV 간의 초기 차간거리

2. 고속차로에서 저속차로로 차로변경

1) 목표차로의 선행차량 앞으로 차로변경

HV가 목표차로의 선행차량(LV2) 앞으로 차로변경하는 상황은 저속차로에서 고속차로로 차로변경하는 상황과 동일하다.

2) 목표차로의 선행차량과 후행차량사이로 차로변경

고속차로에서 저속차로로 진입하기 위하여 감속을 통해 목표차로의 선행차량인 LV2와 동일한 속도를 유지한다. HV와 LV2 간의 초기차간거리(\$D\_{LV2}\$)가 안전거리(\$SD\_{LV2}\$)보다 크고 HV와 FV 간의 초기차간거리(\$D\_{FV}\$)도 안전거리(\$SD\_{FV}\$)보다 크면 차로변경을 수행한다. 만약 HV의 속도가 LV2 속도와 동일하지만 \$D\_{LV2}\$가 \$SD\_{FV}\$만큼 확보되지 않는다면 차로변경을 수행할 수 없다. 그러므로 HV는 더 감속을 하여 안전거리를 확보한 후 차로변경을 하도록 하였다.

HV가 감속을 하여 LV2의 속도와 같아지는데 걸리는 시간(\$t'\$)을 식(8)을 통해 산정하였다.

$$t' = \frac{(V_{LV2} - V_{HV})}{d} \quad (8)$$

- \$d\$ : 감속도
- \$t'\$ : HV가 감속을 하여 LV2의 속도와 같아지는데 걸리는 시간

\$t'\$시간 후, HV와 LV2의 차간거리가 \$SD\_{LV2}\$만큼 확보되었는지 고려한다. \$SD\_{LV2}\$는 차로변경 시 LV2가 감속을 하더라도 추돌하지 않는 안전거리이며 계산식은 식(9)와 같으며, 식(10)을 통하여 차로변경 가능여부를 판별한다.

$$SD_{LV2} = ((V_{HV} + d \times t') \times t_{LC}) - (V_{LV2} \times t_{LC} + \frac{1}{2} \times d \times t_{LC}^2) \quad (9)$$

$$D_{LV2} > SD_{LV2} \quad (10)$$

\$D\_{LV2}\$가 \$SD\_{LV2}\$보다 크면 FV와의 차간거리를 고려한다. HV와 FV의 안전거리(\$SD\_{FV}\$)는 HV의 속도가 LV2 속도와 동일한 상태에서 차로변경 시 FV가 가속을 하더라도 추돌하지 않는 안전거리를 구하는 계산식이다. 또한 차로변경 여부 판별식은 식(12)와 같다.

$$SD_{FV} = (V_{FV} \times t_{LC} + \frac{1}{2} a \times t_{LC}^2) - ((V_{HV} + d \times t') \times t_{LC}) \quad (11)$$

$$D_{FV} > SD_{FV} \quad (12)$$

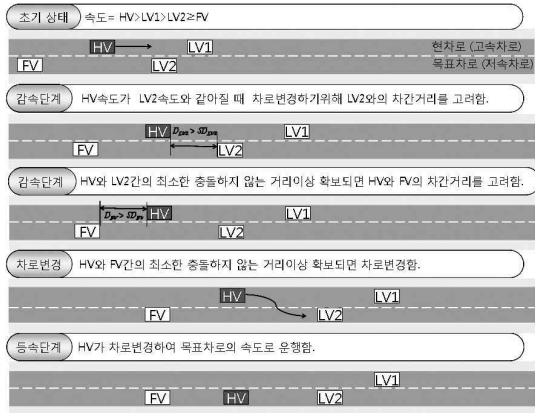
반면, \$t'\$ 시간 후, \$D\_{LV2}\$가 \$SD\_{LV2}\$보다 작을 경우, \$SD\_{LV2}\$를 확보하기 위하여 HV는 더 감속을 한다. \$SD\_{LV2}\$만큼 공간을 확보되는데 필요한 시간 계산식은 식(13)과 같으며 HV가 감속하여 이동한 거리는 LV2가 이동한 거리와 \$t\_d\$ 일 때 필요한 안전거리를 추가하여 전개하였다.

$$(V_{HV} + d \times t') \times t_d + \frac{1}{2} \times d \times t_d^2 = V_{LV2} \times t_d + (SD_{LV2} - S_3)$$

$$SD_{LV2} = (V_{HV} + d \times t') \times t_{LC} - (V_{LV2} \times t_{LC} + \frac{1}{2} \times d \times t_{LC}^2)$$

$$S_3 = V_{HV} \times t' + \frac{1}{2} \times d \times t'^2, t_d = \sqrt{\frac{(SD_{LV2} - S_3) \times 2}{d}} \quad (13)$$

\$S\_3\$ : \$t'\$ 시간동안, HV가 이동한 거리



<그림 6> 목표차로의 선행차량과 후행차량사이로 차로변경 (고속차로에서 저속차로로 차로변경)

$t_d$  : HV가 감속을 하여 안전거리( $SD_{LV2}$ )만큼 확보되는데 필요한 시간

따라서  $t_d$  시간 후  $SD_{LV2}$  를 확보한 후 최종적으로 식 (12)를 통해 FV와의 안전거리를 고려하여 차로변경 여부를 결정한다.

#### IV. 차로변경 모형 검증

##### 1. 시나리오별 시뮬레이션

본 연구에서 개발한 차로변경 모형이 주변 차량들(LV1, LV2, FV) 간의 안전거리 확보 여부에 따라 적절하게 차로변경을 수행하는지 평가하기 위해 시나리오별로 검증하였다.

현차로의 선행차량(LV1), 목표차로의 선행차량(LV2)과 후행차량(FV)은 등속도로 주행한다고 초기상황을 설정하였다. 모두 일반 승용차로 구성되며 차량의 길이는 5m로 설정하였다. 차로변경 소요시간은 3초로 설정하였다.

시뮬레이션 중 HV는  $[-3, 2]m/sec^2$  범위에서 가감속을 하여 차로변경을 수행한다. 이는 기존 연구에서 운전자의 승차감을 고려한 가장 안정적이고 적당한 가속도 범위이다. (정희진, 2006)

<표 1>은 저속차로에서 고속차로로 차로변경하는 상황이며, 시뮬레이션 시간은 20초이다. 시나리오 1, 2, 3에서 HV의 초기속도는 20m/s, LV1의 속도는 18m/s, LV2의 속도는 25m/s, FV의 속도는 23m/s로 시뮬레이션을 수행하였다.

<표 2>는 고속차로에서 저속차로로 차로변경하는 상황

<표 1> 저속차로에서 고속차로로 차로변경 시나리오

시뮬레이션 data		scenario 1	scenario 2	scenario 3
시뮬레이션 시간		20s	20s	20s
현차로	대상차량	20m/s	20m/s	20m/s
	선행차량	18m/s	18m/s	18m/s
목표차로	선행차량	25m/s	25m/s	25m/s
	후행차량	23m/s	23m/s	23m/s
두 차량 간 초기거리	HV-LV1	150m	80m	80m
	HV-LV2	3m	3m	3m
	HV-FV	100m	100m	10m

<표 2> 고속차로에서 저속차로로 차로변경 시나리오

시뮬레이션 data		scenario 4	scenario 5	scenario 6
시뮬레이션 시간		20s	20s	20s
현차로	대상차량	27m/s	27m/s	27m/s
	선행차량	26m/s	26m/s	26m/s
목표차로	선행차량	18m/s	18m/s	22m/s
	후행차량	18m/s	18m/s	22m/s
두 차량 간 초기거리	HV-LV1	50m	20m	20m
	HV-LV2	3m	50m	10m
	HV-FV	100m	100m	100m

이다. 시나리오 4와 5에서 HV의 초기속도는 27m/s, LV1의 속도는 26m/s, LV2의 속도는 18m/s, FV의 속도는 18m/s이다. 시나리오 6에서 HV의 속도는 27m/s, LV1의 속도는 26m/s, LV2의 속도는 22m/s, FV의 속도는 22m/s로 시뮬레이션을 수행하였다.

##### 2. 시뮬레이션 수행결과

###### 1) 저속차로에서 고속차로로 차로변경 검증 결과

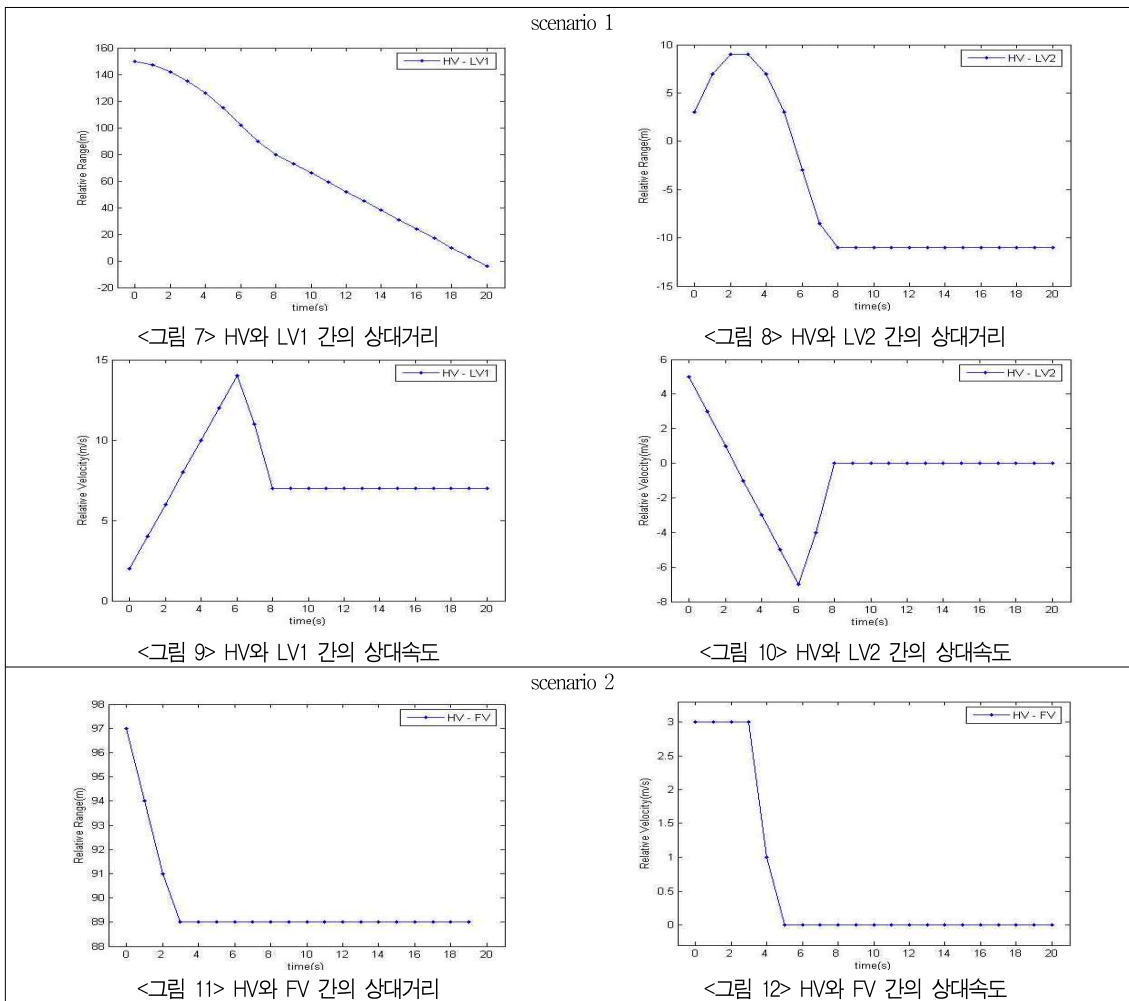
저속차로에서 고속차로로 차로변경하는 상황의 시뮬레이션 결과는 <표 3>과 같다.

HV가 LV2를 추월하는데 걸리는 시간은 약 6초가 소요되었으며 HV가 차로변경하기 위해서 필요한 LV1간의 최소 안전거리는 103.5m로 산정되었다. 즉, HV와 LV1의 속도에서 LV2 앞으로 차로변경 시 추돌하지 않기 위해서는 초기 차간거리가 최소 103.5m를 확보해야한다.

<표 3> 저속차로에서 고속차로로 차로변경 검증

구분		scenario 1	scenario 2	scenario 3
상대거리(m) (안전거리)	HV-LV1 ( $SD_{LV1}$ )	150 (103.5)	80 (103.5)	80 (103.5)
	HV-FV ( $SD_{FV}$ )	-	100 (18)	10 (18)
차로변경		LV2 앞으로 차로변경	LV2와 FV사이 차로변경	차로변경×

<표 4> 저속차로에서 고속차로로 차로변경 시뮬레이션 수행결과



시나리오 1에서는 HV와 LV1 간의 초기차간거리가 150m로 안전거리보다 크다. 따라서 HV는 LV2 앞으로 차로변경을 하였다. <그림 7>은 LV1과의 상대거리로 차로변경하는 동안 추월하지 않아 충분한 여유공간이 확보된 것으로 판단된다. <그림 8>에서는 HV가 6초가 되는 시점에서 추월하였으므로 HV와 LV2 간의 상대거리가 음수 값이 나타났다. HV가 차로변경 후, HV와 LV2 간의 차간거리가 일정한 거리로 유지하면서 운행하는 것으로 나타났다. <그림 9>에서는 HV가 LV2를 추월하기 위해 가속을 하였으므로 6초가 되는 시점에서 LV1 간의 상대속도 차가 크게 나타났다. <그림 10>에서도 6초에 HV와 LV2 간의 상대속도 차가 크게 나타나며 차로변경 후 목표차로의 속도와 동일한 속도를 유지하는 것으로 나타났다.

시나리오 2에서는 HV와 LV1 간의 초기차간거리가

80m로 안전거리 미만이므로 LV2 앞으로 차로변경 할 수 없다. 반면, LV2와 FV사이로 차로변경을 하기 위해서는 HV와 FV 간의 안전거리인 18m이상 확보되어야 한다. 시나리오 2에서 HV와 FV 간의 초기차간거리가 100m로 안전거리보다 크다. 따라서 LV2와 FV사이로 차로변경을 하였다. <그림 11>에서 HV와 FV 간의 상대거리가 줄어들면서 차로변경이 끝나는 시점인 3초 후로는 일정한 간격을 유지하며 운행하는 것으로 나타났다. <그림 12>에서도 3초 후에 FV의 속도와 동일하게 운행하는 것으로 나타났다.

시나리오 3에서는 HV와 LV1 간의 초기차간거리와 HV와 FV 간의 초기차간거리가 안전거리 미만이므로 차로변경을 수행할 수 없다.

2) 고속차로에서 저속차로로 차로변경 검증 결과

고속차로에서 저속차로로 차로변경하는 상황의 시뮬레이션 결과는 <표 5>와 같다.

시나리오 4와 5에서 HV가 LV2 앞으로 추월하는데

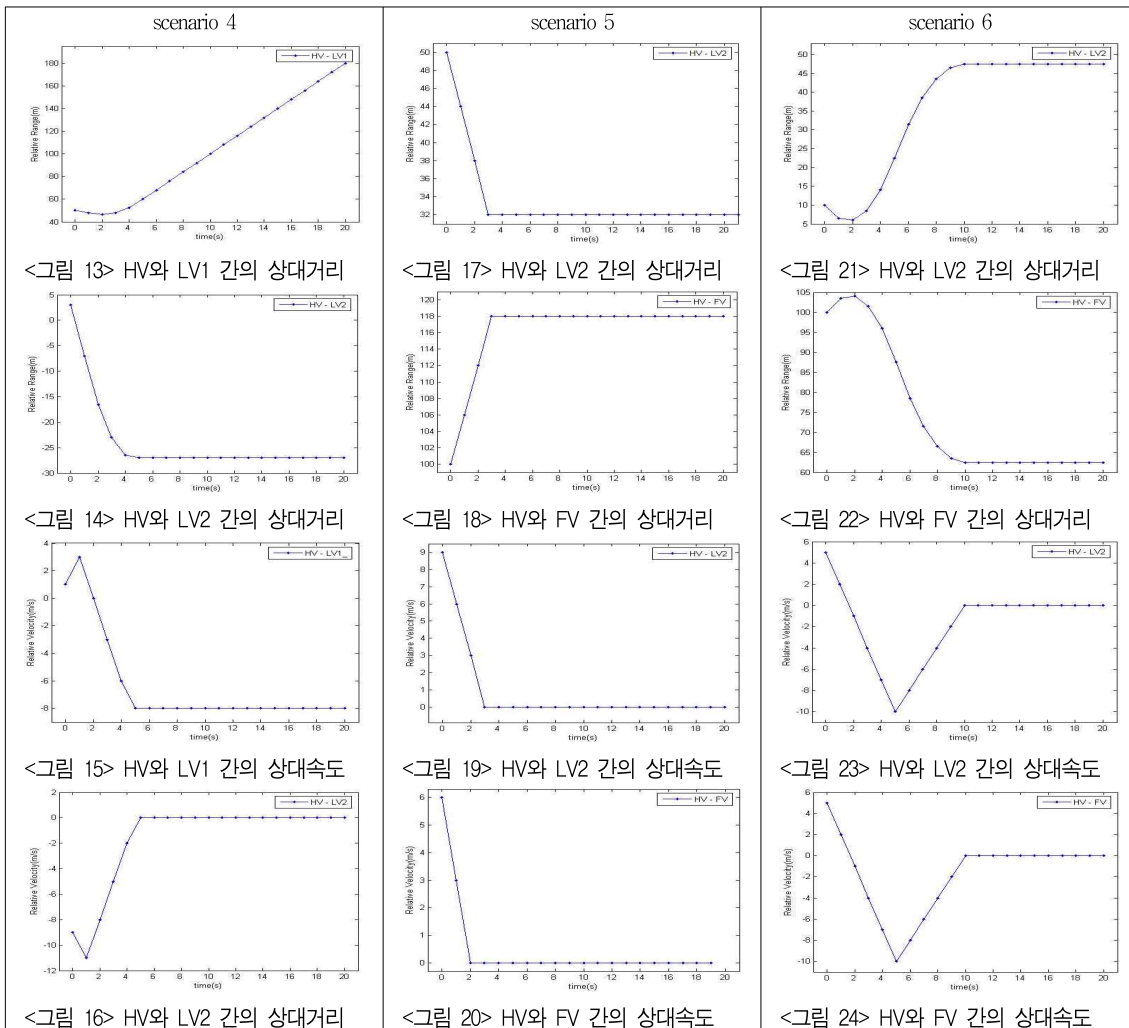
<표 5> 고속차로에서 저속차로로 차로변경 검증

구분		scenario 4	scenario 5	scenario 6
상대거리(m) (안전거리)	HV-LV1 ( $SD_{LV1}$ )	50 (24)	20 (24)	20 (34.5)
	HV-LV2 ( $SD_{LV2}$ )	-	HV=LV2, 22.5 (13.5)	HV<LV2, 22.5 (10.5)
	HV-FV ( $SD_{FV}$ )	-	100 (9)	87.5 (39)
차로변경		LV2 앞으로 차로변경	LV2와 FV사이 차로변경	LV2와 FV사이 차로변경

걸리는 시간은 1초이다. 1초 후, HV가 차로변경하기 위해 LV1과의 안전거리는 최소한 24m가 확보되어야한다.

시나리오 4에서 HV와 LV1 간의 초기차간거리가 50m로 안전거리보다 크다. 따라서 LV2 앞으로 차로변경을 하였다. <그림 13>에서 HV가 차로변경 후, HV와 LV1 간의 상대거리가 일정하게 증가하는 것으로 나타났다. <그림 14>에서 HV가 LV2를 추월하는 시점인 1초 후에는 HV와 LV2 간의 상대거리가 음수 값을 가진다. 이는 HV가 LV2를 추월하여 차로변경한 상황이다. 차로변경 후, 일정한 거리를 유지하며 운행하는 것으로 나타났다. <그림 15>에서 HV가 가속을 하여 LV2를 추월하므로 1초인 시점에 HV와 LV1 간의 상대속도가 가장 크게 나타났다. <그림 16>에서도 1초인 시점에 HV와

<표 6> 고속차로에서 저속차로로 차로변경 시뮬레이션 수행결과



<그림 13> HV와 LV1 간의 상대거리

<그림 14> HV와 LV2 간의 상대거리

<그림 15> HV와 LV1 간의 상대속도

<그림 16> HV와 LV2 간의 상대속도

<그림 17> HV와 LV2 간의 상대거리

<그림 18> HV와 FV 간의 상대거리

<그림 19> HV와 LV2 간의 상대속도

<그림 20> HV와 FV 간의 상대속도

<그림 21> HV와 LV2 간의 상대거리

<그림 22> HV와 FV 간의 상대거리

<그림 23> HV와 LV2 간의 상대속도

<그림 24> HV와 FV 간의 상대속도



LV2 간의 상대속도가 가장 크게 나타났으며, 차로변경 후 HV는 목표차로의 속도흐름에 맞추어 운행하는 것으로 나타났다.

시나리오 5에서는 HV와 LV1 간의 초기차간거리가 20m로 차로변경 시 추돌하게 된다. 반면, HV가 LV2와 FV사이로 차로변경하기 위해서는 LV2만큼 속도를 낮추어 차로변경을 해야 한다. HV의 속도가 LV2의 속도와 같아지는데 걸리는 시간은 3초이다. 이 순간, HV와 LV2의 상대거리와 HV와 FV의 상대거리를 고려해야 한다. HV와 LV2의 차간거리가 22.5m로 안전거리인 13.5m보다 크다. HV와 FV의 차간거리는 100m로 안전거리인 9m보다 크다. 따라서 HV는 LV2와 FV의 사이로 차로변경을 하였다. <그림 17>, <그림 19>에서 차로변경이 끝나는 시점인 3초 후로는 HV와 LV2 간의 상대거리 및 상대속도가 일정하게 나타났다. <그림 18>, <그림 20>에서도 3초 후로는 HV와 FV 간의 상대거리 및 상대속도가 일정하게 나타났다.

시나리오 6에서는 HV가 가속을 하여 2초 후, LV2를 추월하였다. HV와 LV1 간의 차간거리가 20m로 안전거리인 34.5m 미만이므로 차로변경을 수행할 수 없다. HV는 LV2와 FV사이로 차로변경하기 위해서 HV와 LV2 간의 차간거리, HV와 FV 간의 차간거리를 고려한다. HV는 LV2의 속도만큼 감속을 하여 두 차량 간의 차간거리가 안전거리 이상이면 FV간의 차간거리도 고려하여 차로변경을 수행하였다. 하지만 HV와 LV2 간의 차간거리가 안전거리 미만으로 더 감속을 하여 안전거리인 10.5m이상 확보하였다. HV와 FV 간의 상대거리 또한 안전거리인 39m보다 크기 때문에 차로변경을 수행하였다. <그림 21>, <그림 22>에서 HV는 감속을 하여 안전거리가 확보되면 차로변경을 수행한다. 차로변경이 끝나는 시점인 9초 이후로는 HV와 LV2 간의 상대거리, HV와 FV 간의 상대거리가 일정하게 나타났다. <그림 23>, <그림 24>에서 HV가 감속을 하여 차로변경하는 시점인 5초에서 HV와 LV2 간의 상대속도, HV와 FV 간의 상대속도가 가장 크게 나타났다. 9초 이후에는 HV와 LV2 간의 상대속도, HV와 FV 간의 상대속도가 0으로 나타나는 것으로 보아 동일한 속도로 운행하였다.

## V. 결론 및 향후연구과제

본 연구는 고속차로에서 저속차로로 차로변경하는 상황과 저속차로에서 고속차로로 차로변경하는 상황에서

안전거리를 계산하여 추돌하지 않고 안전하게 차로변경할 수 있도록 차로변경모형을 개발하였다. LV2와의 차두거리가 좁은 상황에서 LV2 앞으로 차로변경할 것인지 LV2와 FV사이로 차로변경할 것인지 판단하여 차로 변경하도록 제시하였다. LV2 앞으로 차로변경할 경우, HV와 LV1 간의 차간거리를 고려하였다. LV2와 FV사이로 차로변경 할 경우, HV와 LV2 간의 차간거리, HV와 FV 간의 차간거리를 고려하였다. HV와 LV1, LV2, FV 간의 속도, 차간거리, 차두거리에 따라 시나리오별로 검증한 결과, 시나리오1과 시나리오4에서는 HV가 LV2를 추월하여 LV2 앞으로 차로변경하였다. HV가 LV2를 추월했을 때 HV와 LV2의 상대속도가 가장 크게 나타났으며, 차로변경 후 일정한 거리를 유지하며 운행하는 것으로 나타났다. 시나리오2, 5, 6은 HV가 LV2와 FV사이로 차로변경하였다. HV와 LV2 간의 차간거리, HV와 FV 간의 차간거리를 고려하여 차로변경 후, 일정한 거리를 유지하면서 운행하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 개발한 차로변경 모형은 차량 간의 차간거리를 고려하여 안전하게 차로변경 할 수 있음을 증명하였다.

이러한 차로변경 모형은 유비쿼터스 환경 하에 안전 주행 지원시스템, 자동운행시스템에 활용되어 운전자가 안전하게 운전할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 본 연구는 차량자체에 대한 제어로 국한하여 연구하였으므로 실제 도로상에 적용 시 한계점을 가진다. 그러므로 향후에는 본 연구에서 개발된 차로변경 모형에 운전자의 개별성향, 환경적 요인 등과 같은 다양한 요소를 추가하여 첨단차량에 적용함으로써 신속하고 안전하게 차로변경 할 수 있도록 연구되어야 할 것이다.

알림 : 본 논문은 16th ITS World Congress Stockholm (2009.9.24)에서 발표된 내용을 수정, 보완하여 작성된 것입니다.

## 참고문헌

1. 박희제·배상훈·정희진(2008), “인간공학적 요소를 반영한 첨단차량 추종모형”, 대한교통학회지, 제26권 제2호, 대한교통학회, pp.121~133.
2. 배상훈(2007), “첨단제어차량의 추종거동을 위한 최적안전거리 산정”, 제27권 제1호, 대한토목학회, pp.1~7.

3. 정희진(2006), “유비쿼터스 컴퓨팅 기반의 지능형 차량제어 통합시뮬레이션 모형 개발”, 부경대학교 대학원, 공학석사학위논문 p.34.
4. 정성봉 · 송기환 · 박창호 · 전경수 · 고승영(2004), “미시적 주행행태를 반영한 후미추돌위험 평가모형개발”, 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.133~144.
5. 최재성 · 이승준(2001), “고속도로 합류부 임계차 두간격 및 용량 산정에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.195~205.
6. Guihua Yang, Veverly Jaeger, and Ronald R. Mourant(2006), “Driving performance of novice and experienced drivers in lane-change scenarios”, PROCEEDINGS of the HUMAN FACTOR and ERGONOMICS SOCIETY 50th annual meeting-2006, pp.2712~2716.
7. Jose L. Bascunana(1995), “Analysis of Lane Change Crash Avoidance”, Systems and issues in ITS pp.34~44.
8. Lingxi Li and Fei-Yue Wang, Senior Member, IEEE(2002), “The Automated Lane-Changing Model of Intelligent Vehicle Highway Systems”, The IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems 3-6 September 2002, Singapore. pp.216~218.
9. M. Rüder, W.Enkelmann, R.Garnitz(2002), “Highway Lane Change Assistant”, Intelligent Vehicle Symposium,2002.IEEE pp.240~244.
10. Miyoung BIN, Yasunori IIDA, Nobuhiro UNO (2003), “A study of Lane-Changing Behavior Model at Weaving Section Considering Conflicts,” Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, p.2045.
11. Nobuhiro Uno, Yasunori Iida, Shinji Itsubo and Shiniji Yasuhara Department of Civil Engineering(2001), Kyoto University, Japan, “A Microscopic Analysis of Traffic Conflict Caused by Lane-Changing Vehicle at Weaving Section,” The 13th Mini-EURO Conference, pp.144~146.
12. Takashi Wakasugi(2005), “A study on warning timing for lane change decision aid systems based on driver’s lane change maneuver”, Japan Automobile Research Institute, pp.1~7.

✉ 주 작 성 자 : 최지은

✉ 교 신 저 자 : 배상훈

✉ 논문투고일 : 2009. 1. 6

✉ 논문심사일 : 2009. 3. 17 (1차)

2009. 11. 26 (2차)

2009. 12. 1 (3차)

✉ 심사판정일 : 2009. 12. 1

✉ 반론접수기한 : 2010. 4. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필