

운전자의 주행 중 불안감도를 고려한 첨단차량 추종모형 개선

Development of Car Following Model Considering Measurement of Alarm while driving in advanced safety vehicle

최지은

(부경대학교 위성정보과학과 학사과정)

박희제

(한국교통연구원 연구원)

배상훈

(부경대학교 위성정보과학과 교수)

Key Words : 인간공학, 추종거동, 퍼지모형, 첨단차량

목 차

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| I. 서론 | 1. 추종거동 모형 선정 |
| 1. 연구배경 및 목적 | 2. 추종거동 모형 개선 |
| 2. 연구수행방법 | 3. 시뮬레이션 수행 |
| II. 문헌고찰 | V. 개발모형의 검증 |
| III. 운전자 MOA측정을 위한 퍼지모형 | 1. 검증 시나리오 |
| 1. 운전자 MOA 측정 | 2. 검증 결과 |
| 2. 운전자 설문조사 | VI. 결론 및 향후연구과제 |
| 3. 퍼지모형 구축 | 참고문헌 |
| IV. 운전자 MOA를 적용한 추종모형 | |

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

현재 도로상황은 교통량이 계속 늘어나 도로 용량은 포화상태가 되고 이로 인해 극심한 교통 체증이 문제화 되고 있다. 안전거리 미확보, 위험한 고속 주행 등과 같이 운전자들의 부주의로 인한 교통사고 역시 교통소통을 원활하게 하는데 방해한다. 이러한 교통상황에서 도로용량의 효율적 이용 및 교통사고율 저하 등 현대사회에서 대두되고 있는 문제를 해결하기 위해 운전자들이 안전하게 운전할 수 있도록 첨단 차량 및 첨단도로에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다.

국내에서의 첨단차량분야 연구는 1990년대 중반부터 각 업체별로 진행되었으며, 현재 몇몇 기업의 연구소와 정부 산하 연구소 및 대학 연구실에서 개별적인 연구가 수행되고 있다. 그러나 미국, 일본 등의 선진국에서는 정부와 대학, 기업들이 함께 연구하면서 기초기술개발이 완료하였고 현재 첨단차량의 상용화에 대해서 추진 중이다. 첨단도로분야에 대해서는 국내의 경우 2007년 스마트하이웨이 건설을 위한 국가연구개발 사업을 기획 중에 있으나, 미국, 일본 등의 선진국에서는 이미 연구된 첨단도로의 Field Test를 계획하고 있다. 또한 최근 첨단 차량 및 첨단도로분야에서 현실적 주행 상황을 연출하기 위해 인간공학(Human Factors)가 주요 연구과제로 언급되고 있다. 이는 첨단 차량 및 첨단 도로분야에 초점

을 두고 연구가 진행되는 동안 간과해 왔던 운전자 및 탑승자의 안전성과 편의성에 대한 관심이 높아짐으로써 주요과제로 부각되고 있다.

그러나 현재 첨단차량분야의 인간공학 연구는 운전자의 졸음측정 및 음주운전경고 등과 같이 운전자의 역학적 연구에 한계를 가지며 인간공학(Human Factors)을 배제한 채 차량 자체의 제어에 국한하여 연구개발이 진행 중이다. 따라서 차량제어 연구가 현실에 적용하는데 어려움을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 첨단차량분야의 차량제어모형 중 중요한 기초기술이라 할 수 있는 추종거동모형에 인간공학을 반영하여 운전자의 안전을 제고함과 동시에 도로이용 효율을 극대화 할 수 있는 개선된 추종거동모형을 개발하고자 하였다.

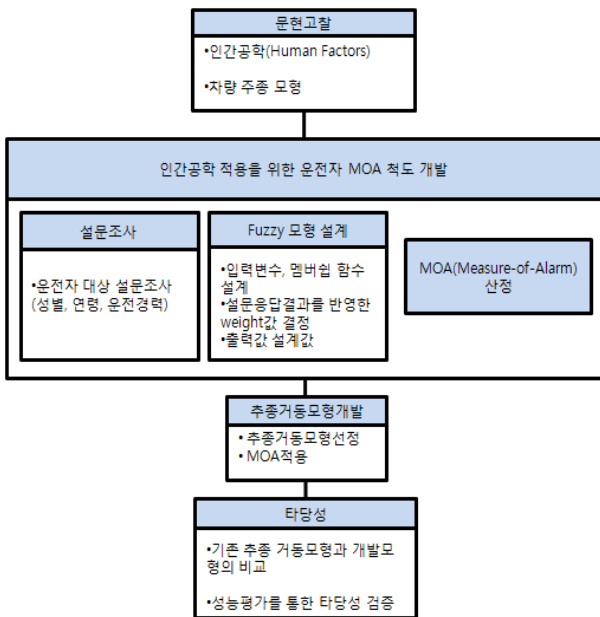
2. 연구수행방법

본 연구는 문헌고찰을 통하여 연구방향을 설정한 후 인간공학을 적용할 기존의 추종거동모형을 선정하였다. 그리고 모형개발 방향과 연구 방법을 모색하였다. 추종거동모형에 인간공학(Human Factors)을 적용하기 위하여 실제 고속도로 상을 주행하는 운전자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 그 분석결과를 근거로 운전자의 불안감의 정도를 측정하기 위한 퍼지모형을 구축하여 운전자의 불안감의 정도를 낮추고 도로이용효율을 높이는 추종거동모형을 개발하였다. 그리고 기존 연구된 추종거동모형과 본 연구에서 개발한 추종거동모형의 성능을 비교함으로써 개발모형의 타당성을 검증하였다.

기존에 연구되었던 첨단차량 추종거동 모형(Pradash, 2005)

은 운전자의 안전성은 고려하지 않고 기계적 관점에서 국한하여 도로이용 효율성과 운행의 효율성을 높이는 데 초점을 두고 있다. 이는 첨단차량을 이용하는 운전자의 불안감 및 스트레스 등을 고려하지 않은 제어모형으로서 기존 모형을 현실에 적용할 경우 한계성을 가진다. 운전자들은 운전을 수행하는 동안 운전자의 개별 특성과 선행차량과 추종차량간의 물리적 요인 및 환경요인에 의해 상황별로 각기 다른 불안감 및 스트레스를 느끼게 된다.

따라서 본 연구에서는 첨단차량을 운전하는 운전자의 특성 및 선행차량과 추종차량간의 물리적 요인과 환경적 요인에 의해 운전자 개개인이 느끼는 불안감의 정도를 정량적으로 측정하여 추종거동모형에 적용하였다. 이로 인해 첨단차량 운전자는 안전성을 도모함과 동시에 효율적인 추종거동으로 인해 도로이용의 효율성을 높일 수 있다.



<그림 1> 연구수행과정

II. 문헌고찰

Chiyomi (2007)은 운전자 모델링과 그 평가에 대한 연구에서 추종거동과 페달 작동 유형과 같은 운전 행태를 모델화시켰다. 연구에서는 2차원 공간에 그려진 추종 거리와 속도와의 관계를 비선형함수 또는 Gaussian mixture model(GMM)의 통계 방법을 이용하여 운전자 각각에 대한 최적의 속도 모델을 연구하였다. 페달 작동 유형은 원시 작동 신호의 스펙트럼 분석을 통해 노출된 스펙트럼의 특징 또는 원시 페달 작동 신호의 분포를 나타내는 GMM으로 모형을 구축하였으며, 운전자 모형은 운전 시뮬레이터와 실제 차량 내에서 수집한 운전 신호를 이용하여 운전자 확인 실험으로 평가하였다. 실험 결과, 페달 작동 신호의 스펙트럼 특징을 바탕으로 한 운전자 모형에서 효율적으로 운전자 개개인의 특징을 설계하여, 276명의 운전자를 대상으로 실시한 현장 검증에서 76.8%의 확인율을 성취하였다.

Robert (2007)은 운전자 연령과 운전행태에 따라 연구하였다. 인간공학적 기여도에 관한 연구에서 연령의 차이에 따라 운행 중 나타나는 문제의 해결을 위하여 위험 책정과 고령 운전자가 사용하기 쉬운 시야의 향상을 위한 훈련을 실시하였다. 논문에서는 실제세계에서 나타나는 다양한 연령 차이로 인해 주의산만, 기억력, 운행, 목표 인식, 도로 표지인지와 충돌 판단 등에 차이가 난다고 하였다. 이러한 현상이 연령 그룹별 연구 중 인지의 차이에 의해 많이 발생하지만, 이것이 연령에 따른 처리 미숙인지 연령 그룹의 환경적 학습차이인지 그 수준을 결정하기 어렵다고 하였다.

Prakash (2005)는 그의 논문에서 GM(General Motors)계열의 추종거동 모형과 그 밖에 잘 알려진 Gipps모형, Leutzbach모형의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션을 수행했다. 시뮬레이션 결과 GM계열의 모형 중 GMIT모형이 가속도의 오차율이 가장 적어 가장 성능이 뛰어난 것으로 분석했으며, 이는 GMIT모형의 반응시간이 '0'이므로 나타난다고 분석하였다.

Sakda (2005)는 인공신경망을 이용한 추종거동모형을 개발하였다. 또한 개발한 추종거동모형의 유연성을 증명하기 위해 교통시뮬레이터인 AIMSUN을 이용하여 개발모형의 성능비교를 위해 채택한 Gipps모델과 비교하여 개발한 추종거동모형의 타당성을 검증하였다.

Srinivas (2004)는 승용차와 트럭간의 상호작용의 계산을 위한 모형의 개발과 상호작용을 초래하는 요인을 분석함으로써 car-truck 상호작용의 정성적인 정의를 제공하였다. 이는 트럭근처의 승용차량 운전자의 불안감도를 찾아내기 위해 승용차량 운전자에 대한 행태모형을 개발하였으며, 승용차량 운전자의 설문조사를 통해 얻어진 정보를 이산선택모형과 퍼지 로직을 통해 운전자 불안도 모형을 개발하였다. 연구의 목적은 통류모델에 사용하기 위한 트럭 추종의 구성요소개발과 FRESIM(Freeway Simulation)의 추종거동모델에서 트럭 추종모형을 구축하는데 있으며 승용차량과 트럭간의 상호작용의 경감을 위한 대안적인 제어전략평가를 하는데 있다.

문헌고찰 결과, 인간공학과 관련한 여러 연구들이 단순히 운전자의 행동패턴을 분석하고, 운전자 개별특성에 따른 차이를 집단화시키는 등 실질적으로 첨단차량 기술개발에 적용하지 못하는 기본연구들이 대부분이다. 또한 추종거동 중 운전자는 선행차량과의 상관관계 외에도 운전자의 특성 및 운행에 영향을 미치는 주위의 환경적 요인에 따라 불안감을 느낀다. 그러나 기 개발된 여러 추종모형들이 선행차량과의 상대 속도 및 거리 등 물리적 요소에 의해서만 제어되고 있으므로 기존 모형의 현실 적용에는 한계가 있다.

첨단차량의 현실적용을 위해서는 개별적으로 연구되고 있는 인간공학 분야와 첨단차량분야 연구의 단일화가 이루어져야 하며, 이러한 단일화 모형의 이론적 적립이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 운전자의 특성 및 환경적 요소를 반영한 인간공학 연구를 추종모형에 반영하여 현실적용을 가능케 하는 모형을 이론적으로 정립하고자 하였다.

III. 운전자 MOA측정을 위한 퍼지모형

1. 운전자 MOA 측정

본 연구에서는 주행 중인 운전자의 불안감의 정도를 측정하여 이를 추종거동모형에 반영하였다. 운전자의 불안감의 정도를 Measure of Alarm(MOA)으로 정의한다. MOA는 선행차량과 추종차량 간의 상대적 관계 및 환경적 요인과 운전자 특성에 따른 추종차량 운전자의 불안감의 정도를 의미한다.

MOA는 구축한 퍼지모형에서 자극강도(Output1)[0, 2]와 민감도(Output2)[1, 9]의 곱으로 [0, 18]의 범위를 가지는 출력값을 가진다, 이때 0은 불안감이 전혀 없는 상태를 의미하며 18과 가까울수록 극도의 불안감을 느끼는 것을 의미한다. MOA는 세 가지 특징을 지닌다. 첫째, 운전자는 개별성향 즉, 성별, 연령, 운전경력 등과 환경적 요인 즉, 노면상태, 운행시간, 전방차량의 종류 및 운전시야거리에 따라 각각 다양한 MOA가 나타난다. 다시 말해 운전자에 따라 주관적인 척도를 가진다. 둘째, 운전자는 운행 중 인간 고유의 불안감을 내포하고 있으므로 MOA가 0이 될 수 없다. 즉, 운전자가 운행 중 아무리 불안하지 않다 하더라도 기본적으로 지니고 있는 MOA가 존재하므로 이론적으로는 MOA가 0의 값이 측정될 수 있다 하더라도 실질적으로 0의 값이 측정되기는 불가능하다. 그러므로 본 연구에서는 MOA를 0으로 낮출 수 없으며, 운전자가 지니는 최소 MOA 즉, 운전자가 최대 허용할 수 있는 허용 MOA까지 최대한 억제하고자 한다. 셋째, MOA와 운행의 효율성은 반비례 상관관계를 가진다. 즉, 선행차량과 추종차량간의 차간 간격이 안전거리 이하로 좁고 추종차량이 선행차량보다 고속으로 주행하게 되면 추종차량의 운행 효율성은 있으나 높은 MOA가 측정된다. 반면, 선행차량과 추종차량간의 차간 간격은 넓고 추종차량이 선행차량보다 저속으로 주행할수록 추종차량의 운행효율성은 떨어지지만 낮은 MOA가 측정된다. 따라서 차간 거리와 속도에 따라 효율적인 차량 제어와 낮은 MOA를 동시에 만족시킬 수는 없다.

<표 1> 설문조사 개요

구분	내용			
주요설문 내용	운전자 개별 특성(성별, 연령, 운전경력 등) 선행차량과 추종차량의 상대속도 및 추종차량의 속도에 따른 불안감의 정도 분석 노면상태, 운행시간, 전방차량의 종류에 따른 불안감의 정도 분석			
설문일시	2007. 5. 19(토)			
설문조사 방법	고속도로 진영휴게소 상행, 장유휴게소 하행에 있는 운전자를 대상으로 하루동안 직접설문			
설문조사대상	운전면허증 소지자			
설문 참여자 분석	총 설문 대상자 125명			
	항목	성별	연령	운전경력
	응답결과	남 87명(69.6%), 여 38명(30.4%)	20대 40명(52%), 30대 39명(31.2%) 40대 32명(25.6%), 50대 11명(8.8%), 60대 3명 (2.4%)	3년 미만 19명(15.2%), 3년 이상 5년 이하 25명(20.2%), 6년 이상 10년 이하 32명(25.6%), 11년 이상 49명(39.2%)

2. 운전자 설문조사

1) 개요

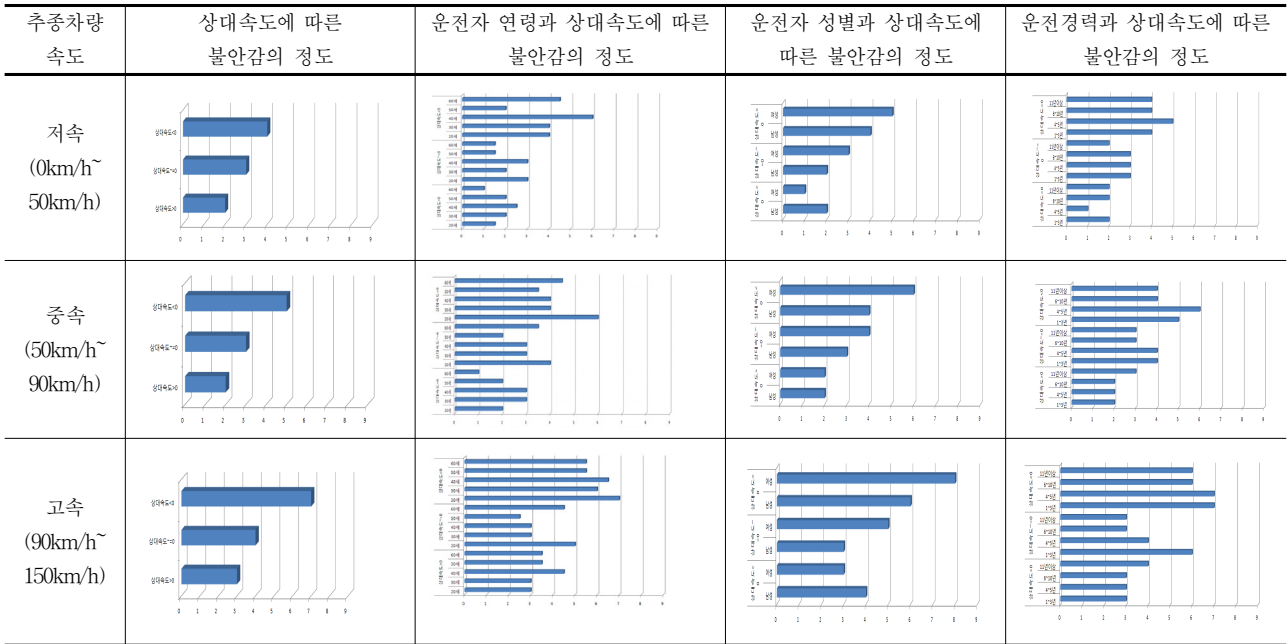
운전자는 운전을 수행하는 동안 끊임없이 스트레스와 불안감을 느끼게 되고 이는 곧 운전자가 편안하게 운전하는데 방해요소가 된다. 이렇게 운전자에게 불안감을 일으키는 요소로 크게 물리적 요소, 환경적 요소, 운전자 개별 특성 등으로 나눌 수 있다. 이 때 물리적 요소에는 대표적으로 선행차량과 추종차량 사이의 상대속도 및 상대거리, 추종차량의 속도를 들 수 있다. 환경적 요소에는 대표적으로 노면상태, 운행시간, 전방차량의 종류, 운전시야거리 등 불안감을 일으키는 요소가 다양하다. 운전자 개별특성에는 대표적으로 운전자의 성별, 연령, 운전경력 등이 있다.

따라서 본 논문에서는 운전자의 MOA를 정량적으로 측정하여 판단하기 위해 운전자 설문조사를 실시했다.

2) 설문결과분석

설문조사는 설문항목에 따라 운전자가 느끼는 불안감의 정도를 [1, 9]범위 내 정수로 응답하도록 하였다.

설문조사를 분석한 결과, 남성보다는 여성이 불안감을 더 많이 느끼는 것으로 나타났다. 또한 연령별로는 차량의 속도에 따라 주로 20대와 30대가 불안감을 더 많이 느낀다고 응답하여 연령별로 불안감의 정도가 차이 남을 알 수 있었다. 운전경력별로는 대체적으로 운전경력 5년 미만의 운전자일 경우 불안감을 더 많이 느끼는 것으로 분석되었다. 또한 대부분의 운전자는 본인차량의 속도가 저속일 경우보다 고속일 경우에 불안감을 더 많이 느끼는 것으로 분석되었으며 대체적으로 선행차량의 속도가 본인차량의 속도보다 느릴 경우 더 큰 불안감을 느끼는 것으로 분석되었다. 그 밖에 노면상태가 건조할 때보다 습하거나 결빙일 경우, 주간운행보다 야간운행일 경우, 전방차량의 종류가 승용차일 때 보다 트럭일 경우 더 큰 불안감을 느끼는 것으로 나타났다.



<그림 2> 설문조사 결과

3. 퍼지모형 구축

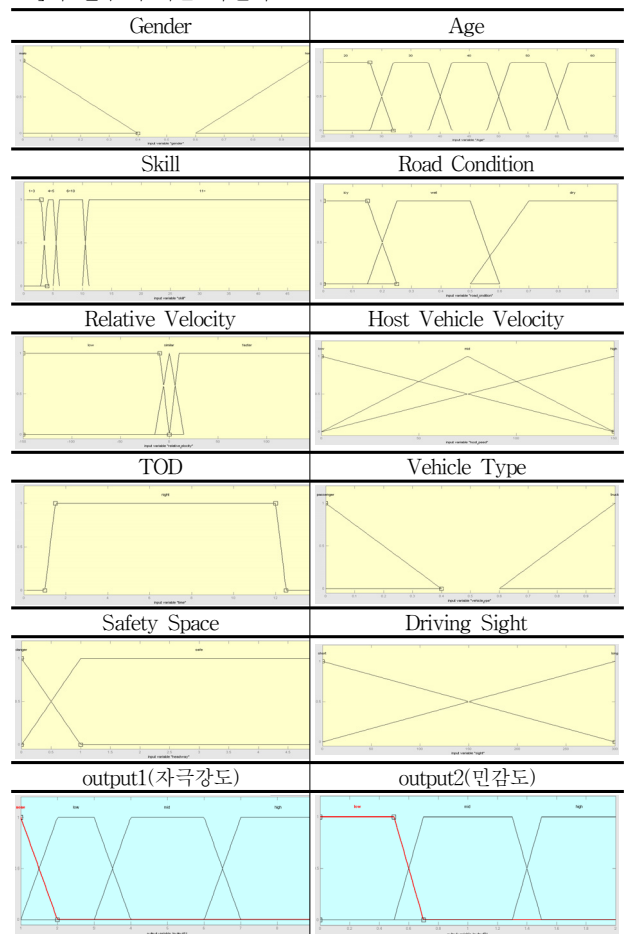
1) 모형설계

퍼지모형은 인간의 사고와 행동에 관련된 부정확함과 애매한 현상의 의미를 수학적으로 접근하여 애매한 성질의 집합을 판단할 때 우수한 성능을 보이는 모형이다.(이상배, 1999) 설문조사를 통한 운전자 개별 특성 및 불안감 정도에 대한 응답결과를 바탕으로 운전자 MOA추정을 위한 퍼지모형의 입력변수, 멤버십 함수, 룰, 출력값을 결정하였다. 입력변수는 설문조사의 각 항목 및 일반적으로 중요시 되는 사항을 더하여 총 10개의 입력변수를 결정하였다. 결정된 입력변수로는 운전자의 연령, 성별, 운전경력과 선행차량과 추종차량 간 상대속도 및 추종차량의 속도, 노면상태, 운행시간, 전방차량의 종류, 상대적 안전거리, 운전시야거리 등이 있다.

입력값에 따른 멤버십 함수는 설문조사 분석결과 및 문헌고찰을 토대로 선정하였고 멤버십 함수는 다음과 같은 방법으로 총 10개로 설정하였다. 출력값은 자극강도와 민감도 부분으로 나누어 2개의 출력값이 나오도록 설계하였다. 출력값은 입력변수와의 연관성을 분석하여 자극강도(Output1)와 민감도(Output2)로 나누었으며, 디퍼지방법으로는 무게중심법(Centroid of Gravity Method)으로 대표값을 결정하였다. 이때 자극강도(Output1)는 물리적으로 변화하는 수치, 즉 선행차량과 추종차량 간 상대속도와 추종차량의 속도 및 안전거리에 관계한 변수이며, 민감도(Output2)는 인위적으로 변화시킬 수 없는 값, 즉 환경요소(노면상태, 운행시간, 전방차량의 종류 및 운전시야거리)와 운전자 개별특성(운전자 연령, 성별, 운전경력)에 관계한 변수이다. 이러한 출력값은 자극강도(Output1)와 민감도(Output2)의 곱으로 연산되어 최종적인 운전자 MOA가 측정된다.

자극강도는 추종차량과 선행차량과의 상대속도와 상대거리 및 추종차량의 속도에 따라 실시간으로 도출되어지며, 민감도

는 운전자의 개별 특성과 환경요인이 변하지 않는 이상 고정값으로 도출된다. 최종적으로 계산되어 지는 MOA 즉, 운전자가 느끼는 불안감의 정도는 실수로 표현되는 MOA는 자극강도(Output1)[0, 2]와 민감도(Output2)[1, 9]의 곱으로서 [0, 18]의 실수 범위를 가진다.



<그림 3> 멤버십 함수

다음으로 퍼지 룰은 설문조사의 분석 결과를 바탕으로 퍼지모형의 출력 값에 영향을 줄 수 있는 상호 연관된 입력변수를 분석하여 설계하였다. 각 룰의 가중치는 설문조사의 운전자 응답비율에 대한 상대적 변화율을 근거로 부여하였다. 응답자의 일관된 판단을 위해 설문항목에 제시한 4그룹([1]: 불안하지 않음, [2, 3]: 불안감의 정도가 낮음, [4, 6]: 불안감의 정도가 중간임, [7, 9]: 불안감의 정도가 높음)의 응답 비율을 비교하여 가중치를 부여하였다.

<표 2> If-then 룰

No	IF	THEN	Weight
1	Relative velocity is low and host velocity is low	Output1 is low	0.1
2	AGE is 30s and road condition is wet	Output2 is mid	0.2179
:	:	:	:
98	GENDER is male and road condition is wet	Output2 is mid	0.24
99	SKILL is 1~3years and road condition is wet	Output2 is mid	0.27

설계한 퍼지모형의 타당성을 검증하기 위하여 기존의 연구된 추종거동모형 중 타 추종거동모형보다 가속도 오차율이 적은 GGM모형을 선택하여 MOA를 측정하였다. 선행차량이 일정한 시간간격(50초)으로 150km/h에서 100km/h로 가감속을 반복할 때 퍼지모형에 의해 산출되는 추종차량 운전자의 MOA는 <표 3>과 같다. 검증결과, 운행환경요소와 운전자 개별특성에 따라 각기 다른 MOA가 측정되었다. 선행차량의 가감속과 운행상황의 변화에 의해 운전자 MOA가 유동적으로 변화함에 따라 퍼지모형이 적절히 설계되었음을 검증하였다.

<표3> 퍼지모형 검증 시나리오 및 결과

시나리오	data1	data2	data3	data4
성별	여	남	여	남
나이	20	40	20	40
운전경력	3년	20년	3년	20년
차량속도	41.7m/s	41.7m/s	41.7m/s	41.7m/s
운전시간	10pm	10pm	2pm	2pm
안전거리	10m	10m	200m	200m
상대거리	13.8m/s	13.8m/s	0m/s	0m/s
도로상태	결빙	결빙	건조	건조
선행차량유형	트럭	트럭	승용차	승용차
시야	10m	250m	10m	250m

IV. 운전자 MOA를 적용한 추종거동모형

1. 추종거동 모형 선정

본 연구에서 문헌고찰을 바탕으로 기존의 개발된 추종거동모형 중 가장 대중적으로 사용되며 가속도의 오차율이 적고 운전자의 반응시간을 고려할 수 있는 GM 계열 모형 중 GGM 모형을 선정하였다.[7] GGM모형은 미국 General Motors사에서 1962년 개발한 추종거동 모형으로 GHR(Gazis-Herman-Rothery)모형으로도 알려져 있다. GGM 모형의 기본 식은 다음과 같다.

$$a_F(t) = \alpha \frac{v_F(t)^m}{\Delta x(t-\tau)^l} \Delta v(t-\tau) \quad (1)$$

이 때 $a_F(t)$ 는 시간 t 초에서 추종 차량의 가속도, $v_F(t)$ 는 시간 t 초에서 추종차량의 속도, 선행 차량의 속도, 선행차량의 전방차량의 속도, $\Delta v(t)$ 와 $\Delta x(t)$ 는 각각 선행차량과 추종차량 사이의 상대속도와 차간거리, t 는 현재 시뮬레이션 시간(초), τ 는 운전자의 인지 반응시간 또는 시뮬레이션 간격(초), α 는 민감도를 나타내는 파라미터 m , l 은 각각 속도와 상대거리의 작용에 관여하는 파라미터들이다.

2. 추종모형 개선

단독의 첨단차량 운전자가 고속도로를 주행 중일 때 선행차량이 나타나면 추종거동을 실시하게 된다. 이는 추종차량이 선행차량과 동일한 속도를 유지하여 충돌을 피하고 안전하게 주행하도록 하기 위함이다. 그러나 선행차량이 고속상태를 유지하면서 주행 중이라면 추종차량은 선행차량의 속도에 반응하여 불안감을 느끼게 될 것이다. 또한 선행차량과의 거리가 운전자의 기대이상으로 좁은 상황일 경우 추종차량의 운전자는 현재 속도와 거리에 대하여 불안감을 동시에 느끼게 된다. 반대로 선행차량이 고속상태를 유지한다 하더라도 선행차량과 추종차량 사이의 거리가 적정안전거리 이상으로 멀다면 추종차량의 운전자는 거리에 대한 불안감은 느끼지 않고 속도에 대한 불안감만을 느끼게 될 것이다. 그러나 위에서 언급한 상황과는 달리 동일한 상황이라 할지라도 환경적으로 운전이 불리한 조건이 존재한다면 즉, 도로가 결빙상태이거나 시야가 좁은 밤 시간대의 운전이라면 추종차량 운전자의 불안감은 존재 할 것이다. 따라서 첨단차량의 현실적용을 위해서는 선행차량과의 속도 및 거리 관계뿐만 아니라 환경적 요인까지 고려하여 운전자가 안락하고 편안한 운전 상태를 유지하도록 하는 추종모형을 개발하였다.

이를 위해 본 연구에서는 앞서 운전자 MOA를 측정하는 퍼지모형을 구축함으로써 운전자의 현재 MOA를 측정하여 기존에 개발된 GGM모형에 반영하였다. 운전자 MOA를 반영한 인간공학적인 추종거동모형은 다음과 같다. 본 연구에서 개발된 추종거동모형은 HGM(Human Factors in GM)모형으로 명명한다.

if distance < SR or MOA > MOA_{std} , then

$$a_F(t) = \alpha \frac{v_F(t)^m}{\Delta x(t-\tau)^l} \Delta v(t-\tau) - \beta \frac{(MOA - MOA_{std})^2}{MOA_{std}} \quad (2)$$

if distance \geq SR or MOA \leq MOA_{std} , then

$$a_F(t) = \alpha \frac{v_F(t)^m}{\Delta x(t-\tau)^l} \Delta v(t-\tau) + \gamma \frac{(distance - SR)^2}{SR} \quad (3)$$

여기서, MOA는 추종차량이 주행하는 동안의 환경적 요인과 상대적 속도 및 거리에 따른 운전자의 불안감도를 말하며, MOA_{std} 는 차량이 자율거동을 하고 있을 때의 속도별 MOA. 즉, 특정 속도별로 운전자가 지나는 최소 MOA를 뜻한다. distance는 선행차량과 추종차량 사이의 거리, SR은 추종거동

시 속도별 최적안전거리, β , γ 는 운전자의 MOA를 경감시키는데 적용하는 상관계수이다. GGM모형에서 개선을 위해 추가한 독립항은 민감도 β 와 운전자MOA 및 민감도 γ 와 안전거리로 구성된다. 식 (2)의 β 항은 운전자의 MOA와 허용MOA의 오차를 최대한 '0'에 가까워지도록 하여 운전자MOA를 허용MOA까지 낮추도록 설계하였다. 즉, 추종차량의 추종정착시간이 짧고, 안전거리오차가 적은 형태로 제안하였다. 식 (3)의 γ 항은 두 차량 간 상대거리와 최적안전거리의 오차를 '0'에 가까워지도록 하여 상대거리가 최적안전거리를 유지하도록 설계하여 추종차량의 추종정착시간이 짧고, 안전거리오차가 적은 형태로 제안하였다.

개발된 식에서 SR은 선행 연구되었던 첨단차량의 추종거동 시 속도별 안전거리를 근거로 노면상태에 따라 변화하도록 하였다(배상훈, 2007). 이는 교통공학에서 사용하는 안전거리 산정방식에 첨단차량 추종거동 시 속도별 안전거리 공식을 적용하여 노면상태에 따른 첨단차량의 추종거동 시 속도별 안전거리 SR을 구하고자 하였다. SR을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$SR = \frac{0.823 V_F + 6.9341}{f} + \frac{1.0165 V_F - 26.638}{f(1.96 + V_F)^2} \quad (4)$$

여기서, f 는 노면마찰계수, V_F 는 추종차량의 속도이다.

제시된 식(2)는 현재 운전자의 MOA를 측정하여 운전자 MOA가 허용MOA보다 높을 경우 이를 허용MOA까지 낮추도록 설계하였다. 만약 현재의 운전자 MOA가 허용 MOA보다 높을 경우는 특정속도에서 전방차량과의 상대속도와 상대거리 및 추종차량의 속도의 변화로 인해 측정되는 수치이므로 이를 허용 MOA까지 낮추기 위해서는 추종차량이 변화시

킬 수 있는 상대거리를 넓힘으로서 가능해진다. 따라서 식 (2)는 운전자 MOA가 허용 MOA보다 높을 때 추종거동 시행전 안전거리를 확보하게 한 다음 추종거동을 진행시킴으로서 운전자 MOA를 허용MOA까지 낮추면서 안전거리를 유지하도록 설계되었다. 이 때, α 는 추종거동에 영향을 주며, β 는 안전거리 확보 및 MOA경감에 영향을 주는 파라미터이다.

식(3)은 현재의 운전자 MOA가 허용 MOA와 작거나 같으며 두 차량 간 거리가 안전거리 이상일 경우 두 차량 간 거리를 안전거리까지 좁혀 추종거동을 하도록 설계하였다. 만약 추종차량과 선행차량과의 거리가 안전거리 이상이면 추종차량은 자율주행상태로 인식하므로 운전자 MOA가 허용MOA와 동일해진다. 그러나 두 차량 간 거리가 안전거리 이상이면 도로이용 효율성이 저하되는 문제점이 있다. 이 문제점에 대한 개선을 위해 추종 시 두 차량 간 거리를 안전거리까지 좁히도록 가속시킴으로서 도로이용 효율성을 증대시키고자 하였다. 이 때 α 는 추종거동에 영향을 주며, γ 는 두 차량 간 거리를 안전거리까지 좁히는데 영향을 끼치는 파라미터이다.

그러므로 본 연구에서 개발된 식에서 기존 GGM모형의 민감도 및 파라미터인 α , m , l 은 운전자MOA를 저하시키는데 영향을 끼치지 않으며 β 와 γ 가 각각 운전자 MOA저하와 안전거리 확보에 영향을 끼친다.

개발모형에서 상관계수 β , γ 는 각각 $\beta=1.77$, $\gamma=1.29$ 를 적용하였다. β 는 식(2)의 SR이 실제 SR의 10%이내의 오차범위를 허용하면서, 추종거동까지의 정착시간이 50초 이내이며 MOA가 안정적인 행태를 보이는 범위내의 최적값이다. 또한 γ 는 식(3)의 SR이 실제 SR의 10%이내의 오차범위를 허용하면서, 추종거동까지의 정착시간이 20초 이내이며 MOA가 안정적인 행태를 보이는 범위내의 최적값이다.

<표 4> 검증 시나리오

시뮬레이션 data		GGM 모형 / HGM모형		GGM모형 / HGM모형	
		scenario 1	scenario 2	scenario 3	scenario 4
시 뮬 레 이 션 환 경	시뮬레이션 시간	200s	200s	200s	200s
	선행차량 초기속도	150km/h	150km/h	150km/h	150km/h
	두 차량 간 초기 거리	20m	100m	20m	100m
	시간 간격	0.1s	0.1s	0.1s	0.1s
	추종차량 초기속도	150km/h	150km/h	150km/h	150km/h
	선행차량 감속 후 속도	-	-	10km/h	10km/h
	선행차량 감속	-	-	시뮬레이션 시작 50초 후	시뮬레이션 시작 50초 후
MOA 측정 Fuzzy 초기 입력 자료	성별	여	남	여	남
	나이	25세	45세	25세	45세
	운전경력	3년	20년	3년	20년
	추종차량 속도	41.7m/s (150km/h)	41.7m/s (150km/h)	41.7m/s (150km/h)	41.7m/s (150km/h)
	운전 시간	10 pm	2 pm	10 pm	2 pm
	차두간격	20m	100m	20m	100m
	상대속도	0m/s	0m/s	0m/s	0m/s
	도로상태	결빙 마찰계수 0.1	건조 마찰계수 0.9	결빙 마찰계수 0.1	건조 마찰계수 0.9
	선행차량 차종	truck	passenger car	truck	passenger car
시야거리	20m	200m	20m	200m	

V. 개발모형의 검증

1. 검증 시나리오

개선된 모형의 검증을 위해 Matlab 7.0환경에서 기존 모형인 GGM모형과 개발모형(HGM 모형)을 동일한 시나리오 하에서 비교하여 개발모형의 타당성과 효율성을 검증하였다. 기존에 개발된 GGM 모형으로 주행할 경우, 선행차량과 추종차량간의 상대거리 및 속도, 운전자 MOA의 변화를 측정하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 반면, 본 연구에서 개발한 HGM 모형으로 주행할 경우, 선행차량과 추종차량간의 상대거리가 운전환경에 따른 안전거리에 적절하게 적응하면서 선행차량과의 속도를 동일하게 유지하는지, 추종차량의 운전자 MOA를 허용 MOA까지 효율적으로 저하시키는지에 대해 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

시나리오 1과 시나리오 3은 선행차량과의 초기 상대거리가 안전거리이하이고, 환경요인을 열악한 조건으로 설정하였으며, 시나리오 2와 시나리오 4는 선행차량과의 초기 상대거리가 안전거리이상이고 환경조건을 운전을 수행하는데 있어 양호하도록 설정하였다.

2. 검증 결과

시뮬레이션 시, 효율적인 안전거리 유지와 운전자 MOA의 수치를 판단기준으로 설정하였다.

<표5> 시나리오 결과

모형	시나리오	1	2	3	4
GGM 모형	추종차량의 속도(m/s)	41.667 (41.667)	41.667 (41.667)	2.7778 (2.7778)	2.7778 (2.7778)
	상대거리(m) (SR)	20 (297.47)	100 (34.29)	0.6472 (36.405)	3.0797 (6.1778)
	MOA 허용 MOA	9.6159 (3.9807)	2.0156 (2.0156)	9.6159 (3.3269)	3.5467 (1.6845)
모형	시나리오	1	2	3	4
HGM 모형	추종차량의 속도(m/s)	41.658 (41.667)	41.656 (41.667)	2.7776 (2.7778)	2.7777 (2.7778)
	상대거리(m) (SR)	270.13 (297.37)	30.984 (34.289)	36.184 (36.403)	6.1319 (6.1778)
	MOA 허용 MOA	4.0459 (3.9807)	2.0516 (2.0516)	3.3275 (3.3269)	1.6878 (1.6845)

수행결과, GGM모형은 추종차량이 선행차량의 속도변화에 따라 속도를 유지하지만 두 차량 간 상대거리가 최소안전거리를 유지하지 못하거나 비효율적으로 안전거리 이상의 차간거리를 유지하였다. 또한, MOA측면에서도 허용 MOA의 약 3배 이상의 MOA를 유지하여 운전자의 안전성이 결여되는

결과를 도출하였다. 반면, HGM모형은 선행차량의 속도변화에 따라 적절한 추종속도를 유지하였으며, 선행차량과의 상대거리가 안전거리 이하 또는 이상이면 상대거리를 안전거리만큼 넓히거나 좁힌 후 추종상태를 유지하였다. 또한, MOA를 허용 MOA까지 저하시켜 추종거동을 수행하여 운전자의 안전성을 유지하는 결과가 나타났다. HGM모형은 선행차량의 속도변화에 따라 적절한 추종속도를 유지하였으며, 두 차량 간 상대거리는 최소 안전거리의 오차범위 10% 이내를 유지하여 비교적 안정적으로 거동하였다. 또한 MOA 측면에서도 허용 MOA의 오차범위 2%이내로서 운전자의 안전성을 유지하는 결과가 나타났다.

기존모형을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 시나리오1과 시나리오2는 시뮬레이션 시작부터 선행차량과 등속을 유지하기 때문에 가속도와 속도 및 상대거리에 대한 변화가 없으며, 또한 환경적 요인과 속도 및 상대거리에 대해서도 같은 MOA를 유지하였다. 이때 시나리오 1은 열악한 환경적 요인과 안전거리 이상의 상대거리로 인해 높은 MOA를 유지하지만 시나리오2는 비교적 운전이 수월한 환경적 요인과 안전거리 이상의 충분한 상대거리로 인해 허용 MOA를 유지하는 것으로 측정되었다.

그러나 개선된 모형에 적용한 시나리오1은 열악한 환경적 요인과 안전거리 이하의 상대거리로 인한 높은 MOA를 낮추기 위하여 선행차량과의 거리를 안전거리까지 넓히도록 감속하였다. 그 후, 선행차량과의 동일한 속도를 유지하기 위해 가속하게 되고 상대거리가 안전거리 영역까지 진입하였다. 또한, 시뮬레이션 시작시의 높은 MOA가 허용 MOA까지 감소하였다. 시나리오2는 낮은 MOA상황이라 할지라도 선행차량과 추종차량 사이의 거리가 넓으므로 이를 안전거리 영역까지 좁히도록 가속한 후, 감속하여 선행차량과 동일한 속도를 유지하였다. 따라서 낮은 MOA상황에서도 최소의 안전거리를 유지하며 주행하였다.

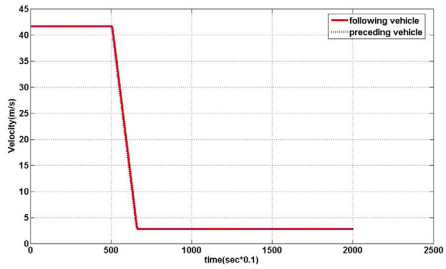
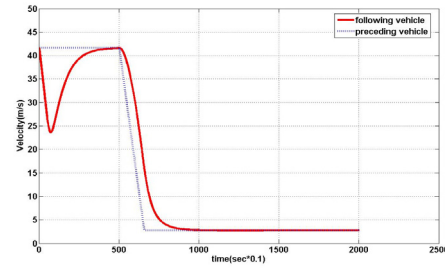
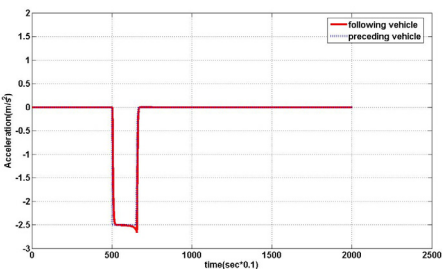
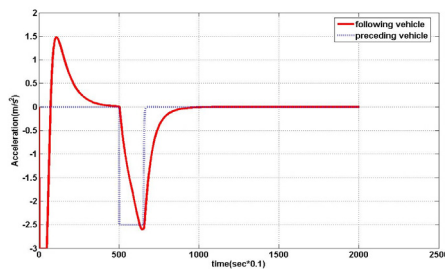
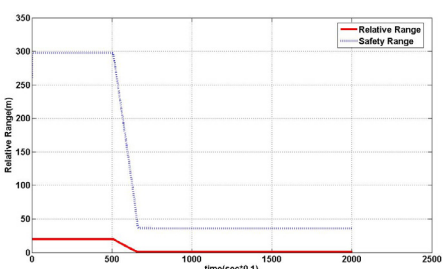
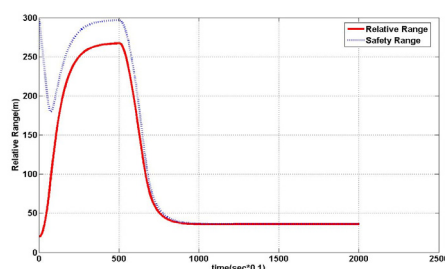
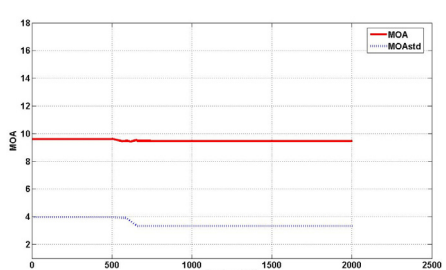
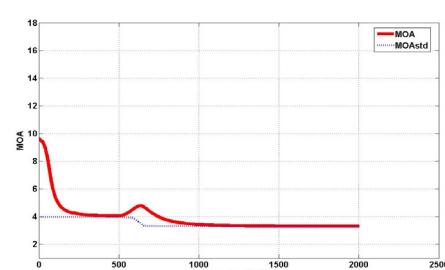
기존 모형을 적용한 시나리오3과 시나리오4는 시뮬레이션 시작 후 선행차량의 긴급한 감속으로 인해 10km/h까지 속도가 저하될 때 추종차량의 거동을 나타낸다. 이 때 두 시나리오에서 추종차량이 선행차량의 감속에 잘 적응하였으나, 시나리오 3은 두 차량 간 상대거리가 안전거리 이하이면서 열악한 환경적 요인으로 인해 운전자 MOA가 높은 상태를 유지하였다. 또한 선행 차량의 감속으로 추종거동을 하더라도 두 차량 간 거리가 안전거리 이하를 유지하면서 추종하게 되고, 운전자 MOA가 허용 MOA까지 낮아지지 않아 여전히 불안한 상태를 유지하였다. 한편 시나리오 4는 안전거리 이상의 상대거리와 수월한 환경적 요인에 의해 낮은 운전자 MOA가 측정되었다. 그러나 여전히 안전거리 이상의 상대거리를 유지하므로 도로이용에 있어 비효율적이다.

개발 모형을 적용한 시나리오3은 시뮬레이션 시작과 동시에 감속을 하여 상대거리를 안전거리 영역까지 확보하였다. 그 후, 가속하여 선행차량과 동일한 속도로 유지하여 허용 MOA까지 MOA를 낮추었다가, 선행차량의 급감속으로 인해 다시 추종거동을 실시하였다. 이 때 선행차량의 급 감속 시

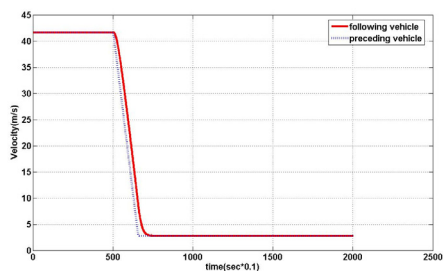
추종차량은 선행차량과의 상대속도 및 추종차량의 속도에 따른 안전거리를 재산정하여 급 감속 시행 후에는 10km/h 속도에서의 안전거리를 유지함과 동시에 허용 MOA를 유지하였다. 시나리오4는 시뮬레이션 시작과 동시에 상대거리를 안전거리까지 좁히기 위해 가속한 후, 감속하여 선행차량과 동일한 속도를 유지하며 주행하다가 선행차량의 급 감속으로 인해 다시 추종거동을 시행하였다. 이 때 선행차량의 급 감속 시 추종차량은 선행차량과의 급 감속 시행 후에는 10km/h 속도에서의 안전거리를 유지함과 동시에 그 때의 허용 MOA를 유지하였다.

시뮬레이션3과 시뮬레이션4에서 선행차량의 감속에 따른 추종차량의 최종 추종 속도 및 운전자MOA와 선행차량과의

상대거리를 비교한 결과, 추종차량의 최종속도는 GGM모형과 HGM모형 모두 선행차량과 같은 속도로 도달함으로써 우수한 성능을 보였다. 그러나 두 모형의 최종 추종상대거리를 비교할 경우, 선행차량 속도 2.78m/s에서 열악한 환경적 요소에 따라 필요한 최적안전거리가 36.4m일 때 GGM모형은 0.6472m를 유지하여 오차율이 98.2%이상인 반면, HGM모형은 36.184m를 유지하여 오차율이 0.006%미만으로 나타났다. 동일한 조건에서의 최대허용MOA가 3.3269인 경우, GGM모형은 9.6159로 185%의 아주 큰 오차율이 측정된 반면 HGM모형은 3.3275로 0.0002%미만의 오차가 측정되었다. 또한 선행차량 속도 2.78m/s에서 운행에 양호한 환경적 요소일 때 필요한 최적안전거리가 6.1778m인 경우, GGM모형이

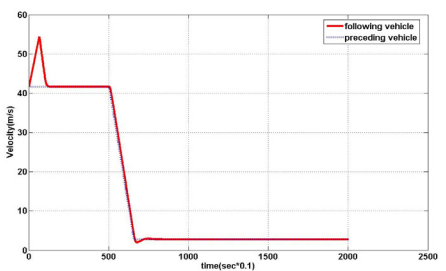
GGM Model scenario 3	HGM Model scenario 3
 <p><그림 4> 선행차량과 추종차량의 상대속도</p>	 <p><그림 5> 선행차량과 추종차량의 상대속도</p>
 <p><그림 6> 선행차량과 추종차량의 가속도</p>	 <p><그림 7> 선행차량과 추종차량의 가속도</p>
 <p><그림 8> 선행차량과 추종차량의 상대거리</p>	 <p><그림 9> 선행차량과 추종차량의 상대거리</p>
 <p><그림 10> 추종차량운전자의 MOA</p>	 <p><그림 11> 추종차량운전자의 MOA</p>

GGM Model scenario 4



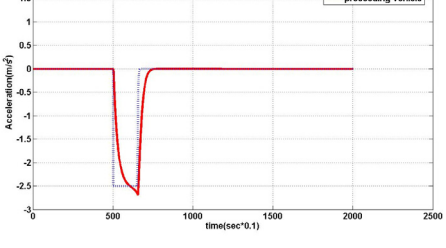
<그림 12> 선행차량과 추종차량의 상대속도

HGM Model scenario 4



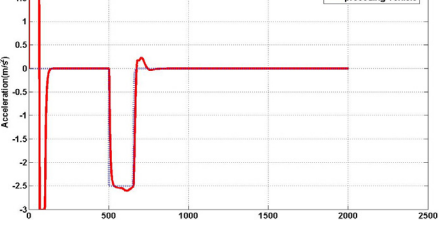
<그림 13> 선행차량과 추종차량의 상대속도

GGM Model scenario 4



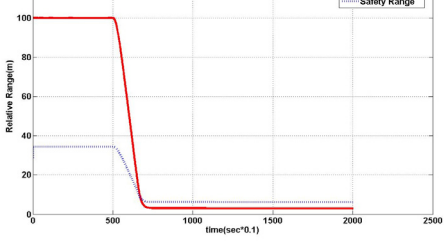
<그림 14> 선행차량과 추종차량의 가속도

HGM Model scenario 4



<그림 15> 선행차량과 추종차량의 가속도

GGM Model scenario 4



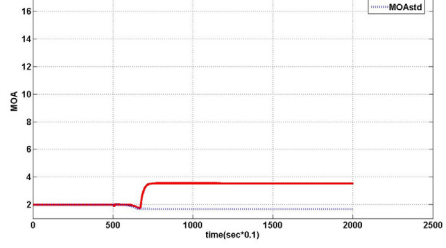
<그림 16> 선행차량과 추종차량의 상대거리

HGM Model scenario 4



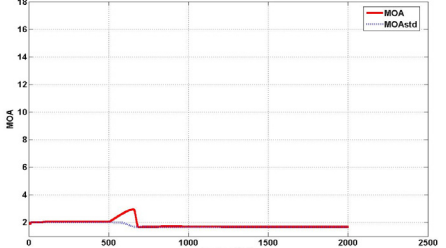
<그림 17> 선행차량과 추종차량의 상대거리

GGM Model scenario 4



<그림 18> 추종차량운전자의 MOA

HGM Model scenario 4



<그림 19> 추종차량운전자의 MOA

3.0797m으로 오차율 50%인 반면, HGM모형은 6.1319m로 0.007%의 오차율이 측정되었으며, 동일한 조건에서 최대허용 MOA가 1.6845인 경우, GGM 모형이 3.5467로 110%의 오차율을 지니는 반면 HGM모형은 1.6878로 측정되어 0.008%의 아주 미세한 오차율이 측정되었다.

따라서 개발된 모형은 기존 추종모형에 비해 운전자의 특성과 운행환경의 변화에 따라 필요한 최적 안전거리와 운전자 MOA를 적절하게 유지함으로써 더욱 탁월한 성능을 보였다. 그 과정에서 두 차량간 차간 거리에 관계없이 동일한 속도에 대해서는 무조건 추종을 수행하는 기존 GGM모형에 비해, HGM모형은 두 차량간 차간 거리에 대하여 안전한 추종

거동에 필요한 조건을 모형 스스로 만족시킴으로서 더욱 안전한 추종거동을 수행할 수 있게 되었다. 다시 말해 GGM모형은 선행차량과 추종차량이 추종에 필요한 조건(속도에 따른 충분한 차간 거리 등)을 완벽하게 갖추고 있을 때 한하여 충돌 없는 추종이 이루어지는 반면, HGM모형은 모형 자체에 선행차량과 추종차량이 충돌 없이 안전한 추종을 할 수 있도록 하는 추종이전 적응단계가 포함되어 있으므로 두 차량사이의 추종에 필요한 최적의 환경을 모형 스스로 산정, 적용하여 추종거동을 위한 수동적, 또는 2차적 추종 환경조성 연계모형이 필요 없으므로 기존의 추종모형에 비해 더욱 능동적이고 환경적응이 탁월한 모형이라 할 수 있다.

VI. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 첨단차량분야에서 차량제어의 기초 기술이라 할 수 있는 추종거동상황에서 첨단차량 운전자가 선행차량을 추종할 때 추종차량 운전자의 안전성과 안락함을 고려한 인간공학적 추종거동모형을 개발하였다. 즉, 첨단차량 운전자의 개별 특징(성별, 연령, 운전경험)과 선두차량과 추종차량과의 상대속도 및 상대거리 외의 환경적 요인(노면상태, 날씨, 선두차량의 종류 등)에 의해 발생하는 운전자의 불안감의 정도를 파악하여 추종거동 중 발생하는 운전자 각각의 불안감의 정도를 측정하기 위한 척도를 개발하고 상황에 따라 달라지는 운전자의 불안감의 정도를 추종거동모형에 적용함으로써 첨단차량으로 주행 시 운전자가 느낄 수 있는 불안감의 정도를 최소화하면서 도로이용의 효율성을 극대화하고자 하였다.

본 논문에서는 운전자가 느끼는 불안감의 정도를 MOA로 표현하였으며, 이는 추종차량과 선행차량 간의 상대적 관계 및 환경요인과 운전자 특성에 따른 추종차량 운전자의 불안감의 정도로 정의하였다. 또한 기존의 개발된 추종거동 모형 중 가장 널리 사용되며 가속도 오차율이 적은 GGM모형을 문헌고찰을 통해 선정하고 기존의 GGM모형에 인간공학을 적용하여 새로운 추종거동모형인 HGM모형을 개발하였다. 그리하여 첨단차량 운전자가 추종거동 중 느끼는 MOA를 측정하여 그 수치를 허용MOA까지 낮추면서 선행차량과의 상대거리가 안전거리를 유지하도록 하는 추종거동모형을 개발하였다.

개발된 HGM모형의 성능을 검증하기 위하여 기존의 개발된 GGM모형과 동일한 시나리오에 따라 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 선행차량과의 상대거리에 관계없이 속도가 동일하면 추종거동을 그대로 유지하는 GGM모형과 달리, HGM모형은 선행차량과의 상대거리가 안전거리 이하 또는 이상이면 상대거리를 안전거리만큼 넓히거나 좁힌 후 추종상태를 유지하였으며, 상대거리와 속도에 의해 높은 MOA를 유지하는 GGM모형에 비해 HGM모형은 MOA를 허용 MOA까지 저하시켜 추종거동을 유지함으로써 운전자의 불안감을 최대 허용치까지 경감시키는 것으로 나타났다.

선행차량의 감속 후 추종차량의 최종 속도 및 MOA와 선행차량과의 상대거리를 비교한 결과, 추종차량의 최종속도는 GGM모형과 HGM모형 모두 선행차량과 같은 속도로 도달함으로써 우수한 성능을 보였으나 두 모형의 최종 추종상대거리 비교 시, 운행환경, 운전자 특성 및 두 차량간 거리 변화에 따라 HGM모형이 GGM모형보다 더욱 적절한 안전거리 적용과 운전자 최대허용MOA를 유지하는 탁월한 안전성을 보였다. 따라서 시뮬레이션 수행결과를 통해 운전자MOA 경감 측면과 도로이용율 측면에서 HGM모형이 GGM모형에 비해 우수하다고 판단되었다. 결론적으로 본 연구에서 HGM모형은 운전자의 안전성과 안락함을 도모함과 동시에 최적의 안전거리를 유지하면서 추종함에 따라 도로이용의 효율성 측면에서도 그 성능이 매우 우수한 것으로 나타났다. 따라서 인

간공학을 적용한 첨단차량의 현실화를 위한 연구·개발이 더욱 가속화될 것으로 보인다.

그러나 본 연구에서는 운전자 MOA를 측정하는 퍼지모형의 입력값에 10개의 항목만을 설정하였으므로 그 밖의 다양한 운전자의 운행 특성과 환경요소 및 선행차량과 관련한 물리적 요소를 반영하지 못한 한계점이 있으며 운전자 MOA를 검증하는 과정에서 구축한 퍼지모형의 타당성을 합리적으로 검증하는 데 한계가 있어 차후 보완·검증이 필요할 것으로 생각된다. 또한 개선된 추종모형의 시뮬레이션 시 더욱 다양한 시나리오 하에 모형의 타당성과 효율성 검증이 필요할 것이며 첨단차량의 현실적용을 위해 인간공학적 연구가 더 발전해나가야 할 것이다.

참고문헌

1. 김장욱 외(2006), 퍼지 및 신경망 이론을 이용한 교통사고 예측모형 개발에 관한 연구, 대한교통학회지 제 24권 제 7호
2. 이상배(1999), 퍼지-뉴로제어시스템, (주)교학사
3. 이현엽, 문경일(1999), MATLAB을 이용한 퍼지-뉴로, 도서출판 아진
4. 박희제 외(2005), 첨단 차량 및 도로분야의 세계동향, 대한교통학회 부산·울산·경남 지회
5. 배상훈 (2007), 첨단제어차량의 추종거동을 위한 최적 안전거리 산정, 대한토목학회논문집D
6. Rober D. Mather(2007), Age and Driving Behavior : Contributions from Human Factors, Journal of Scientific Psychology, July 2007
7. Chiyoumi Miyajima and et. al(2007), Driver Modeling Based on Driving Behavior and Its Evaluation in Driver Identification, 2007 IEEE
8. Sakda Panwai and et. al(2005), Development and Evaluation of a Reactive Agent-Based Car Following Model, IEEE 2005
9. Chung, Sung Bong and et. al(2005), Development of Sensitivity Term in Car-Following Model Considering Practical Driving Behavior of Preventing Rear End Collision, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.6, pp.1354~1367
10. Pradash Ranjitkar and et. al(2005), Experimental Analysis of Car Following Dynamics and Traffic Stability, TRB 2005 Annual Meeting CD-ROM
11. Arif Mehmood and et. al(2002), Application of System Dynamics in Car-Following Models, For presentation at the 20th Annual Conference of the System Dynamics Society
12. Srinivas Peeta and et. al(2005), Minmizing Truck-Car Conflicts on Highway, FHWA/IN/JTRP-2004/16