

전방 충돌경보 및 회피시스템 모델링

Modeling of Forward Collision Warning and Avoidance System

오 병 근* 조 남 효**
Byoung-Keun Oh Nam-Hyo Cho

ABSTRACT

This paper describes modeling and simulation of automotive forward collision warning and avoidance system using CASE(Computer-Aided Systems Engineering) tool. The system is composed of many sensors, a controller, warning devices, brakes and etc. The system was modeled by one activity chart, fourteen state charts and one module chart. Rear-end collision scenarios was generated by Simulink and used to support Statemate model. The resulting model was used to evaluate the correctness of function and behavior of the system. A simulator for the system has been designed and used to validate the model under realistic operating conditions in the laboratory. To model and simulate the system's functionality and behavior brings clarity to system design early in the system development.

주요기술용어 : Forward Collision Warning and Avoidance System(전방충돌경보 및 회피시스템), CASE(전산보조 시스템공학), State Chart(거동도), Activity Chart(기능도)

1. 서 론

자동차 보유대수의 증가와 더불어 여성, 노약자, 장애자 등 다양한 운전계층의 등장으로 안전운전과 운전의 편리성에 대한 요구가 증대되었다. 전방 충돌경보 및 회피시스템은 이러한 요구를 충족시켜주는 첨단 안전장치로서 차량에 대한 적용이 점차적으로 확대될 전망이다. 이와 관련하여 미국, 일본, 유럽 등 자동차 선진국은 레이저 레이다, mm wave 레이다, 초음파, 적외선, 비전 등의 센서 기술과 제동, 조향, 구동장치 등을 제어하는 차량제어 기술을 개발 중이며 일부는 상품화 된 상태이다.

이 시스템은 여러 개의 센서와 ECU, 그리고 구동장치 등의 하드웨어와 제어알고리즘이 포함된 소프트웨어로 복잡하게 구성되어 있으며 주행상황에 실시간으로 반응해야 한다. 이와 같은 시스템을 개발하는 경우 개발초기에 시스템의 기능과 거동을 정확히 분석하고 검증하는 것은 쉽지 않고 이로 인해 설계 오류를 포함하게 된다. 종래의 개발방식에서는 시제품을 제작하여 시험하는 것을 통해 설계오류를 확인하고 개선하는 과정을 반복하게 되며 이는 많은 비용과 시간을 필요로 한다. 또한 본 시스템의 경우 개발된 시스템을 실제 차량에 장착하여 시험하는 것이 필수적인데 이 경우 충돌위험상황을 시험해야 하는 어려움이 존재한다.

* 고등기술연구원, 아주대학교 시스템공학과 박사과정

** 고등기술연구원 동력시스템연구실

본 논문에서는 종래의 개발방식이 가지고 있던 문제점을 개선할 수 있는 방법으로서 시스템공학 전산 보조도구를 이용한 시스템 모델링과 시뮬레이터를 이용한 검증에 대해 연구하였다.

본 시스템은 시스템공학 전산보조도구인 State-mate⁽¹⁾⁽²⁾의 기능도, 거동도, 구조도(module chart)를 이용하여 모델링되었다. 충돌 시나리오는 실제 교통 사고 통계자료를 참고하여 구성하였다. 또한 실제의 주행상황에 가깝도록 가감속시의 가속도 데이터를 수집하였으며 SIMULINK를 이용하여 임의의 주행상황에 대한 가감속 데이터를 만들어 낼 수 있었다. 이러한 데이터는 시스템 모델의 기초 입력 데이터로 사용되었다. 시스템 모델은 기능과 거동에 대해 시뮬레이션을 수행해가면서 오류를 발견하고 수정함으로써 완성도를 높일 수 있었다.

또한 실제 주행상황을 모사할 수 있는 시뮬레이터를 제작하여 개발된 시스템 모델과 시제품을 실험실에서 검증하였다.

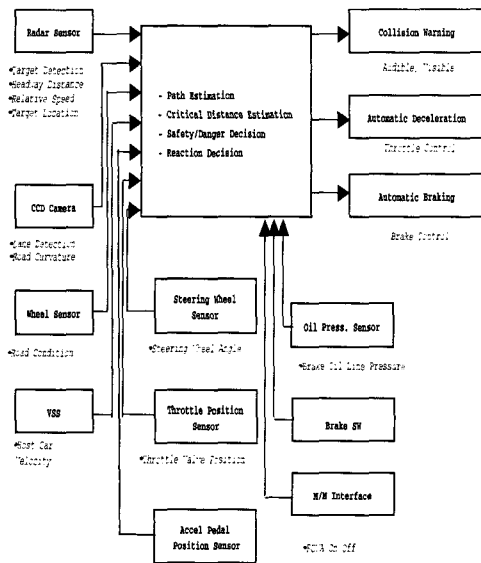
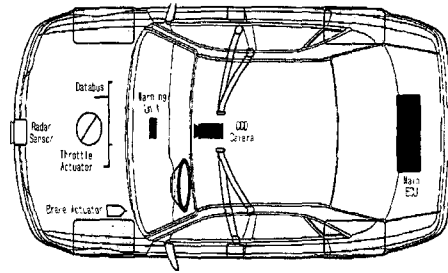
2. 시스템의 구성

전방 충돌경보 및 회피시스템은 레이더와 CCD 카메라 등의 센서를 이용하여 차량 주행시 전방차량과의 상대속도, 상대거리를 측정하고 이를 이용하여 충돌위험 여부를 판단한다. 운전자의 차량이 전방차량에 너무 가까이 접근하는 경우 충돌의 잠재적 위험에 대해서 경보한다. 만약 경보후에도 운전자가 감속을 하지 않으면 시스템이 자동으로 제동함으로써 충돌위험을 방지한다. 이 시스템은 그림 1과 같이 구성되어있다.

2.1 센싱부

- 레이더 : 전방차량과의 상대거리 측정

- CCD 카메라 : 전방차량인식, 차선인식, 차선곡률인식
- 차속 센서 : 운전차량의 속도 측정
- 차륜속도 센서 : 마찰계수를 추정하여 노면의 상태를 파악
- 조향각 센서 : 조향각 측정



(그림 1) 시스템의 구성

2.2 제어부

센싱부에서 입력되는 측정 데이터를 ECU를 이용하여 차량의 경로를 예측하고 전방차량과의 임계전

방거리를 계산한다. 전방차량과의 거리가 임계전방 거리에 접근함에 따라 경보를 울려주고 운전자가 반응을 보이지 않을 경우는 자동으로 제동하는 기능을 수행한다.

2.3 경보 및 구동부

- 경보 장치 : 운전자에 청각/시각적인 방법으로 경보를 주는 장치이다. (부저, LED)
- 쓰로틀 시스템(throttle system) : 평소에는 운전자의 가속페달의 위치에 따라 쓰로틀 밸브를 개폐하고 충돌위험상황에서는 운전자가 가속페달을 밟고 있더라도 쓰로틀 밸브를 폐쇄한다.
- 제동 시스템(brake system) : 충돌위험상황에서 자동으로 제동해주는 장치이다. 센싱부에서 입력되는 측정 데이터를 ECU를 이용하여 차량의 경로를 예측하고 전방차량과의 임계전방거리를 계산한다. 전방차량과의 거리가 임계전방거리에 접근함에 따라 경보를 울려주고 운전자가 반응을 보이지 않을 경우는 자동으로 제동하는 기능을 수행한다.

3. 주행 상황 및 충돌 예측

3.1 주행 상황

3.1.1 충돌 시나리오

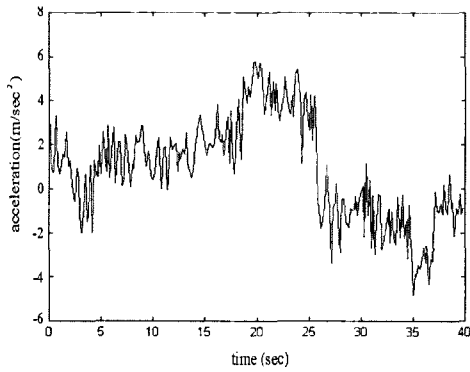
시뮬레이션을 위해서는 실제상황을 바탕으로 시나리오를 구성해야 한다. 표 1은 충돌(rear-end collision)상황에 대한 미국 운수성(US DOT)의 통계자료이다. 통계자료에서 볼 수 있듯이 직선도로에서 발생하는 사고가 89.3%를 차지하고 있으며 이 상황에 대해 시뮬레이션 하고자 한다.

[표 1] 충돌 시나리오
(1992-1996 US DOT GES data)

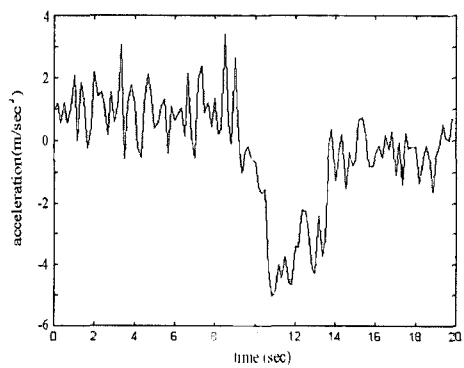
순번	상황 설명	빈도 (%)
1	직선도로에서 전후방차량이 비슷한 속도로 등속주행하다가 전방차량이 감속하는 경우	37.0
2	직선도로에서 후방차량이 등속주행하고 전방차량은 정지해 있는 경우	30.2
3	직선도로에서 후방차량이 등속주행하고 전방차량은 후방차량보다 저속으로 등속주행하는 경우	14.1
4	직선도로에서 전후방차량이 비슷하게 감속하다가 전방차량이 급격히 감속하는 경우	4.5
5	곡선도로에서 후방차량이 등속주행하고 전방차량은 정지해 있는 경우	3.0
6	직선도로에서 후방차량이 감속하고 전방차량은 정지해 있는 경우	1.4
7	직선도로에서 후방차량이 출발하고 전방차량은 정지해 있는 경우	1.4
8	곡선도로에서 전후방차량이 비슷한 속도로 등속주행하다가 전방차량이 감속하는 경우	0.9
9	곡선도로에서 후방차량이 등속주행하고 전방차량은 후방차량보다 저속으로 등속주행하는 경우	0.7
10	직선도로에서 후방차량이 등속주행하고 선행차량이 주행차선으로 갑자기 진입한 경우	0.7
	Total	94.1

3.1.2 주행 데이터

실제의 주행상황은 앞에서 살펴본 충돌 시나리오를 포함하여 시내주행과 같이 가다 서다를 반복하는 경우도 있을 수 있으며 일정한 간격을 유지하는 경우도 있다. 이와 같이 다양한 경우에 대해 본 시스템을 시뮬레이션하기 위해서 차량의 가속과 감속 데이터를 조합하는 방법을 사용하였다.



(그림 2) 가속시의 차량의 가속도 데이터

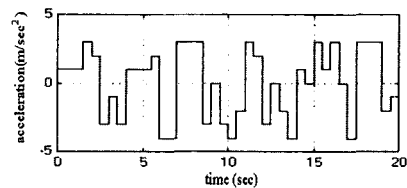
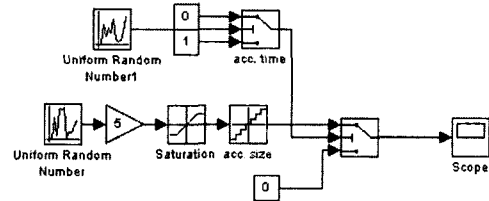


(그림 3) 감속시의 차량의 가속도 데이터

그림 2와 3은 각각 1800cc 엔진의 중형차량에 대해 가속 페달과 브레이크 페달을 밟았을 때의 차량 가속도 값의 변화를 보인 것이다. 본 시스템이 장착될 차량의 경우 승차감에 악영향을 끼치지 않는 가속도 범위는 그림 2와 3에서 살펴 볼 수 있는 것처럼 약 $+5 \text{ m/sec}^2 \sim -5 \text{ m/sec}^2$ 이다. 물론 이들 데이터는 차량에 따라 다른 값을 갖게 된다.

본 시스템이 장착될 차량의 가속도 범위를 고려하고 또한 임의의 주행상황을 만들어 내기 위하여 그림 4와 같이 SIMULINK를 이용하여 모델링 하였다. 임의의 주행상황을 모사하기 위해서 가속과 감속을 랜덤하게 생성하고 조합하였으며 결과가 그림 4의 아래 부분에 나타나 있다. 이와같이 생성된 주행 데

이터는 StateMate를 이용한 시스템 모델에서 충돌 시나리오를 구성해주는 자료가 되고 또한 시뮬레이터에서 종방향 이송부의 구동을 위한 데이터로 활용된다.



(그림 4) SIMULINK를 이용한 주행 데이터의 생성

3.2 충돌 예측

3.2.1 경로 추정

차량이 곡선로를 주행시에는 옆차선의 전방차량을 자기차선의 전방차량으로 오인하여 잘못된 정보와 제동을 할 수 있다. 이를 방지하기 위해서 차량이 전진하는 경로를 추정하여 자기차선의 전방차량을 구별해 낸다. 경로추정을 위해서는 차량의 동역학적인 조건뿐만 아니라 예상 곡률반경을 결정해야 한다. 전진 경로에 대한 예상 곡률반경은 두 가지의 방법을 통해 결정된다. 첫째는 차선(lane mark)의 이미지프로세싱(image processing)으로부터 얻어진 곡률반경 R_1 , 둘째는 차량속도와 조향각으로부터 얻어진 곡률반경 R_2 이다. 차선이 있을 때는 R_1 이 주로 사용되며 곡률반경을 추정하는데 있어서 preview 효과가 있으므로 상당히 유리하다. R_2 는 차선이 없거나 지워져서 식별이 어려울 때 2차적으로 사용된다.

3.2.2 충돌 판단

충돌을 판단하는 기준으로는 임계전방거리(critical headway distance)가 사용되며 이는 노면조건(젖은노면/마른노면), 운행 차량의 속도, 그리고 전방차량과의 상대속도에 의해서 계산되어진다. 충돌판단은 임계전방거리를 실제 측정된 전방차량과의 상대거리를 비교함으로써 처리된다. 자동제동(automatic braking)은 측정된 상대거리가 임계전방거리에 비해서 같거나 작을 때에 작동된다^{(3),(4)}. 임계전방거리는 아래와 같이 표현된다.

$$L_0 = \frac{1}{2} \frac{v_f^2}{a_f} - \frac{1}{2} \frac{v_i^2}{a_i} + R \quad (1)$$

여기서, v_f : 후방차량 속도,
 v_i : 전방차량 속도,
 a_f : 후방차량 감가속도,
 a_i : 전방차량 감가속도,
 R : 전방 여유거리

경보거리(warning distance) L_w 는 임계전방거리가 되기 전에 경보를 울려주어야 하므로 아래와 같이 결정된다.

$$L_w = L_0 + v_f t_d \quad (2)$$

여기서, L_0 는 임계전방거리, t_d 는 지연시간(delay time) 이다

4. 시스템 모델링

4.1 시스템공학 전산보조도구

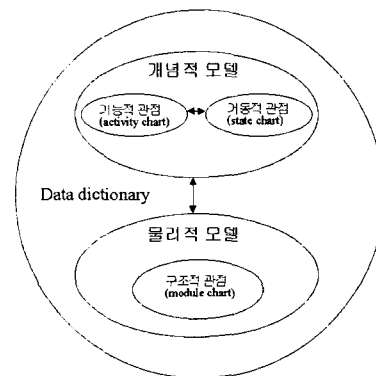
본 연구에서는 시스템을 모델링하기 위해 시스템

공학 전산보조도구인 Statemate를 사용하였으며 그 특징은 다음과 같다.

- 시스템을 그림을 그리는 것처럼 쉽게 모델링할 수 있다.
- 시스템의 기능(functionality)과 거동(behavior)에 대한 확인을 개발초기 단계에 수행할 수 있다.
- Rapid prototype을 만든다.

Statemate는 전체 시스템을 기능적, 거동적, 구조적 관점에서 보고 각각에 대해서 모델링 언어인 기능도, 거동도, 구조도를 사용해서 모델링한다⁽⁵⁾.

각 모델링 언어간의 관계가 그림 5에 나와있다.

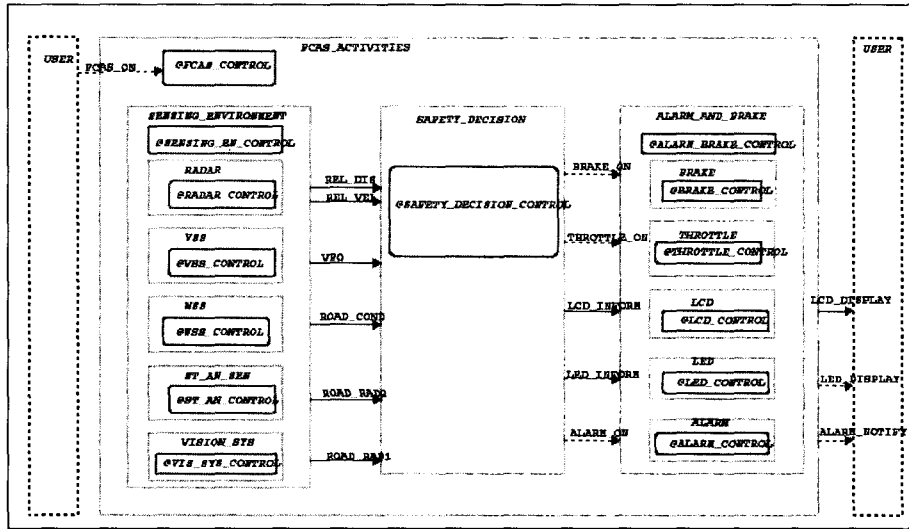


(그림 5) 모델링 언어간의 관계

4.2 기능 모델링

본 시스템의 기능을 그림 6과 같이 기능도를 이용하여 모델링하였다.

기능도는 계층적 데이터 흐름도(hierarchical data flow diagram)와 유사하다. 시스템의 기능 또는 활동, 정보 흐름 뿐만 아니라 데이터 저장소(data store)를 담고 있으며 기능들의 계층 구조는 캡슐화에 의해 그래픽으로 표현되고 그것들 사이는 정보 흐름에 의해 연결된다. 기능도는 시스템의 물리적이고 구현적인 측면은 다루지 않는다. 기능의 실행 순서와 그것



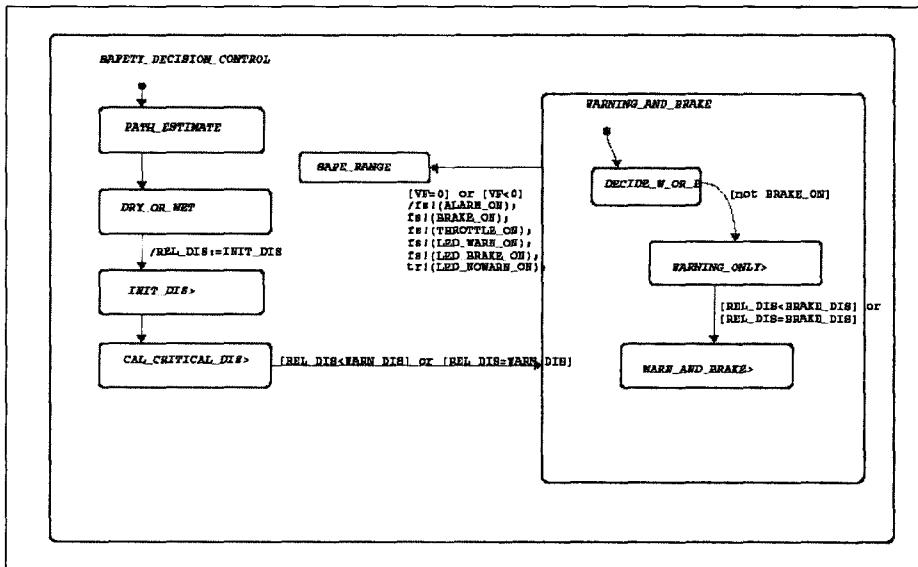
(그림 6) 시스템의 기능 모델링

들의 활성화 또는 비활성화 조건은 거동도에 표현된다.

4.3 거동 모델링

본 시스템의 거동은 총14개의 거동도로 모델링하

였으며 그 중에서 충돌여부를 판단하는 SAFETY_DECISION_CONTROL 거동도가 그림 7에 나타나있다. 거동도는 상태전이 다이어그램을 일반화한 것으로 다중레벨상태(multi-level state), 동시성 (concurrency) 과 캡슐화를 쉽게 표현한다.



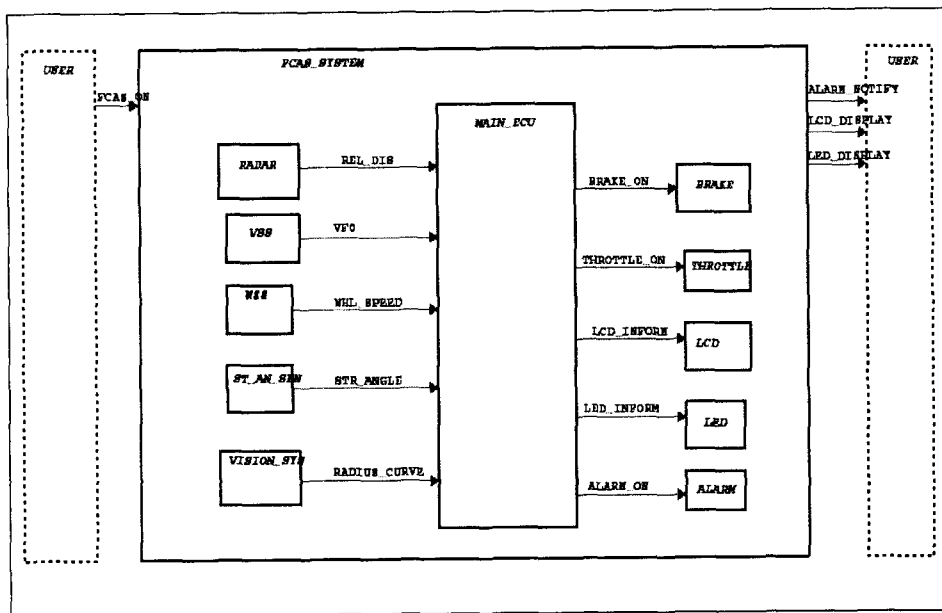
(그림 7) 시스템의 거동 모델링

또한 동기화와 타이밍 정보를 정하는 의사소통구조, 타임아웃(time-out)과 지연(delay) 연산자, 시스템의 거동 히스토리에 따라 천이(transition)를 지정할 수 있다.

4.4 구조 모델링

구조도는 일종의 데이터흐름 다이어그램(data flow diagram) 또는 블록다이어그램이다. 구조도는 시스템을 실행하는 모듈, 각 모듈을 하드웨어와 소프트웨어 블록으로 구분, 각 블록의 내부 부품과 그것들 간의 의사소통을 나타낸다.

그림 8에 본 시스템에 대한 구조도가 나타나있다. FCAS_SYSTEM은 RADAR, VSS, WSS, ST_AN_SEN, VISION_SYS로 이루어진 센싱부와 MAIN_ECU 그리고 BRAKE, THROTTLE, LCD, LED, ALARM으로 이루어진 구동부가 있으며 각각은 정보를 주고 받는다.



(그림 8) 시스템의 기능 모델링

5. 시뮬레이션

5.1 시뮬레이터 제작

시스템 모델을 검증하기 위해서 그림 9와 같은 시뮬레이터를 제작하였다.

실제 차량으로 충돌 시나리오를 시험하는 것은 위험하며 또한 시험의 반복성을 얻기 어려운 단점이 있다.

시뮬레이터는 이러한 단점을 보완하여 실험실에서 충돌 시나리오를 모사할 수 있도록 설계되었다⁶⁾.

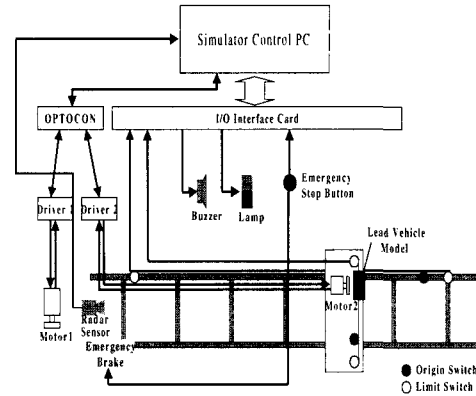
시뮬레이터는 크게 나누어 중/횡방향 이송부, 레이더 센서, 경보 장치, 모니터링 프로그램으로 구성되어 있으며 그림 10에 나와있다. 종방향 이송부는 전방차량과 후방차량의 상대거리와 상대속도를 모사하는데 사용되며 2KW 용량의 AC 모터로 구동된다. 실제 도로 대비 축소비율을 15:1로 하였을 경우 상대거

리를 150m까지 모사할 수 있도록 10m의 길이의 레일이 종방향으로 설치되어있으며 이 레일을 따라 종방향 이송부가 이동한다. 모터의 회전이 정확하게 전달될 수 있도록 타이밍 벨트와 타이밍 풀리를 사용하였다. 횡방향의 경우 축소비율을 15:1로 하였을 경우 좌우 15m씩 모사할 수 있도록 이동가능한 거리가 좌우 각각 1m이다.

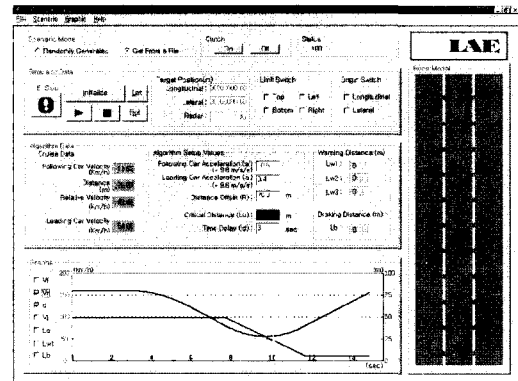
횡방향 이송부는 곡선도로 주행과 옆 차선 주행차량을 모사하는데 사용되며 1KW 용량의 AC 모터로 구동된다.

시뮬레이터에 사용된 레이더 센서는 종방향 이송부에 부착된 전방차량모델(lead vehicle model)과의 상대거리를 측정하는 데 사용되며 33Hz/m의 펄스신호를 출력한다. 레이더 센서로부터 출력된 신호는 인터페이스 카드를 통해 시뮬레이터 제어 PC에 입력된다.

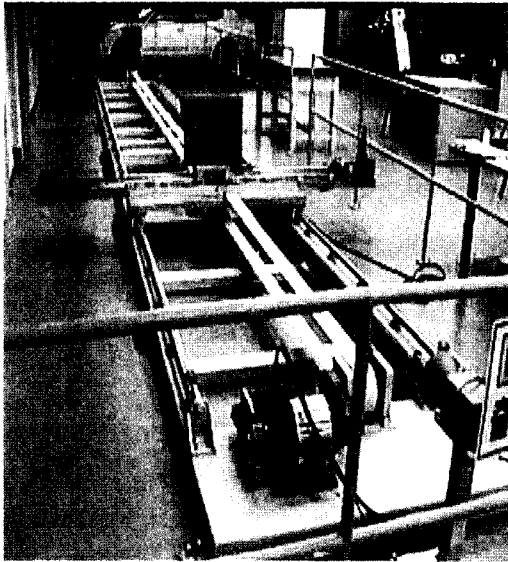
시뮬레이터 제어 PC에는 모니터링 프로그램이 작동하고 있으며 이것은 레이더 센서 신호로부터 얻게된 상대거리로부터 충돌위험을 판단하며 충돌위험상황이라고 판단 된 경우에는 경보장치(부저와 경보등)



(그림 10) 시뮬레이터 구성도



(그림 11) 모니터링 프로그램



(그림 9) 시뮬레이터

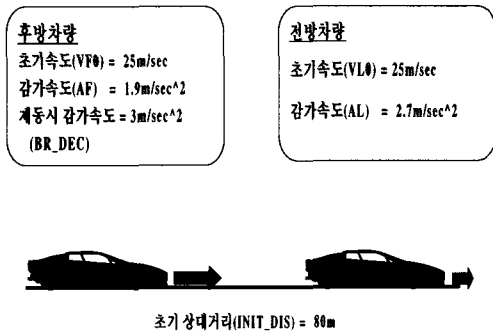
를 작동시킨다. 또한, 모니터링 프로그램은 그림 11과 같이 상대거리, 상대속도, 충돌위험 여부 등의 각종 정보를 GUI 환경으로 보여주고 모터 제어, 경보장치 구동을 위한 프로그램도 포함하고 있다.

경보장치는 부저와 경보등으로 이루어져 있으며 충돌위험상황에서 경보를 하는 기능을 수행하게된다.

5.2 충돌 상황

실제 도로상에서 발생할 수 있는 충돌 시나리오 중의 하나에 대해서 시뮬레이션 해본다. 그림 12와 같이 전방차량이 25m/sec의 초기속도를 가지고 달리

다가 2.7m/sec^2 의 감가속도로 감속되고 있으며, 이 때 후방차량이 25m/sec 의 초기속도를 가지고 달리다가 1.9m/sec^2 의 감가속도로 감속되고 있다. 초기 상대거리는 80m 라고 가정하자. 이 경우 선행차량의 감속이 상대적으로 크기 때문에 상대거리는 점차로 가까워져서 식 (2)로부터 계산되는 경고거리 범위내에 들어오게 되며 이 때 후방차량은 경고신호를 운전자에게 보내게 된다. 운전자의 반응이 없다고 가정하면 상대거리는 계속 가까워져서 식 (1)로부터 계산되는 임계전방거리의 범위에 들어오게 되고 자동으로 브레이크가 작동된다.

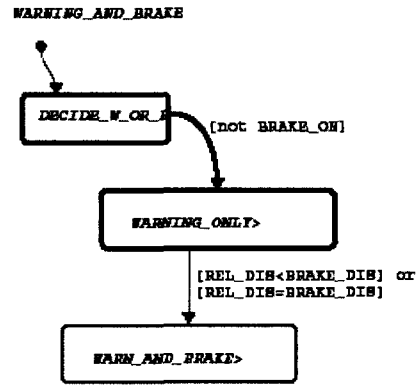


(그림 12) 충돌 상황

5.3 시뮬레이션 결과

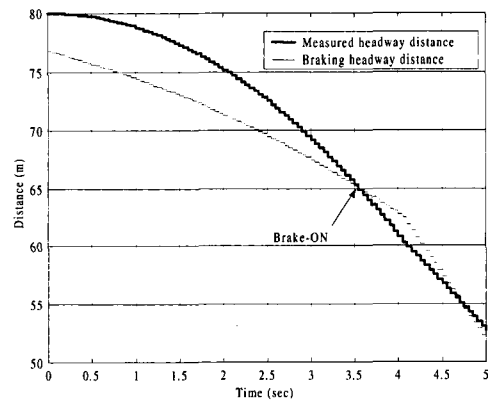
앞에서 가정한 충돌시나리오를 기능도, 거동도, 구조도를 이용하여 작성된 시스템 모델에 적용하여 시뮬레이션을 수행하면 3.5초가 경과된 후에 자동으로 브레이크가 작동하게 된다. 경고신호는 자동으로 브레이크가 작동되기 전에 운전자에게 보내어지게 된다. 경고신호가 발생하는 상황에서의 상태천이를 그림 13과 같이 확인함으로써 시스템의 거동을 시뮬레이션이 진행됨에 따라 면밀하게 검토할 수 있다.

시뮬레이터를 이용하여 시스템 모델을 검증한 결과는 다음과 같다. 종방향 이송부는 전방차량과 후방



(그림 13) 경고상황에서의 상태천이

차량의 상대거리를 축소비율을 고려하여 모사하게 된다. 상대거리가 가까워짐에 따라 모터는 종방향 이송부를 레이더 센서가 위치한 방향으로 이동시키게 되며 전방차량모델이 경고거리 범위 내로 들어오게 되면 모니터링 프로그램에서 알람음을 발생시키고 경보등을 작동시킨다. 경고상황에서도 운전자가 대응하지 않는 경우에는 자동으로 제동하게 되는데 이 경우 시뮬레이터는 종방향 이송부 구동 모터를 감속하여 정지시킴으로써 실제 주행상황을 모사하게 된다. 일단 브레이크가 작동되고 나면 전방차량과 후방차량간의 상대거리는 증가하게 된다. 그림 14에서 시뮬레이터를 이용하여 실험한 결과를 보여주고 있다.



(그림 14) 시뮬레이터 실험 결과

여기에서 굵은선은 레이더 센서를 이용하여 전방차량모델과의 상대거리를 측정된 값을 축소비율을 고려하여 실제 상황에서의 거리로 환산한 데이터이다. 가는선은 식 (1)에서 표현된 임계전방거리를 나타내며 3.5초 후에 충돌위험상황에 이르게 되는 것을 확인할 수 있다. 그 후에는 측정된 상대거리(measured headway distance)가 다시 임계전방거리보다 커지게 되는데 그 이유는 후방차량이 자동제동을 함으로써 상대거리가 증가하기 때문이다.

6. 결론

본 연구에서는 전방 충돌경보 및 회피 시스템에 대해 시스템공학 전산보조도구인 Statemate를 이용하여 모델링하고 시뮬레이션을 수행하였으며 시뮬레이터를 통해 검증하였다. 이를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

시스템의 거동, 기능, 구조 대해 모델링함으로써 시스템 개발초기단계에 시스템에 대해 명확히 이해할 수 있었으며 개발 참여자들과 시뮬레이션을 통해 검증을 수행함으로써 시제품을 제작하기 전에 설계 오류를 발견하여 수정할 수 있었다. 이러한 시스템 모델은 개발과정 중에 발생하는 시행착오를 줄여주는 효과가 있으며 개발기간 전체에 걸쳐 시스템 명세(specification)로서 활용이 가능하다. 또한 작성된 시스템 모델은 필요에 따라 변경할 수 있으며, 추후 유사한 시스템을 개발하는 경우에 재사용이 가능하다.

실제 주행상황을 모사할 수 있는 시뮬레이터를 제작하여 개발된 시스템 모델과 시제품을 실험실에서 검증할 수 있었다. 시뮬레이터를 이용함으로써 실차

시험에서 수행하기 어려운 충돌위험상황을 시험할 수 있었을 뿐 아니라 반복적인 시험이 용이하여 시스템을 적은 비용과 시간으로 검증하는 것이 가능하였다.

종래의 시스템 개발방식이 가지고 있던 문제점인 시스템 개발초기에 설계오류를 발견하기 어렵고 시스템 검증을 위해 많은 비용과 시간이 소모된다는 단다는 것에 대하여 본 논문에서 제시한 방법을 통해 어느 정도 개선이 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. *Statemate MAGNUM User Guide*, I-Logix Inc.,1998
2. *Statemate MAGNUM Reference Manual*, I-Logix Inc.,1998
3. Terry B. Wilson, Walker Butler, Dan V. McGehee, Tom A. Dingus, "Forward-Looking Collision Warning System Performance Guidelines," *SAE Technical Paper No. 970456*, 1997
4. Carol D Eberhard, Philip J Moffa, William R Swihart, "Taxonomy and Size Assessments for Forward Impact Crashes Applicable to Forward Collision Warning Systems," *SAE Technical Paper No. 961666*, 1996
5. D. Harel, "Statecharts : A Visual Formalism for Complex Systems," *Science of Computer Programming*, Vol.8, 1987, pp.231-274
6. Byoung-keun Oh, Woo-kug Hwang, Byung-suk Song, "Simulator for Forward Collision Warning and Avoidance System," *Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress Paper No. F2000I390*, 2000