

# 정성적 추론을 이용한 자동차 충돌 사고 재구성의 검증

## Verification of Automobile Collision Accident Reconstruction Using Qualitative Reasoning

김현경\*      명한나\*\*      한인환\*\*\*  
(Hyun-kyung Kim) (Han-na Myung) (In-whan Han)

**요약** 자동차 충돌 사고 재구성이란 사고 상황으로부터 가능한 모든 정보를 수집, 분석하여 충돌로 인한 사고 거동 및 원인을 규명하는 작업이다. 본 논문에서는 자동차 사고 재구성에 직접 적용이 가능하도록 개발된 충돌 재구성 시스템을 소개하고자 한다. 본 시스템은 정량적 충돌 재구성 시스템과 정성적 충돌 추론 시스템을 통합하여, 상호 보완적 역할을 통해 기존의 단일 시스템이 갖는 제한점들을 극복할 수 있었다. 통합된 시스템은 충돌로 인한 거동에 대한 정확한 예측과 아울러 정성적 충돌 거동 묘사를 제공한다. 강제 동역학 이론에 기초한 충돌 역해석 과정시 정성적 시뮬레이션을 통해 잘못된 가설을 검증하여, 모순되는 가설을 초기 단계에서 찾아낼 수 있게 하였다. 또한 이 과정에서 인과 관계에 근거한 정성적 설명을 제공함으로써, 수치 모델에 의해 예측된 결과의 이해를 도울 수 있었다. 본 시스템은 자동차 충돌 사고의 충돌에 적용되어 유효성을 입증할 수 있었다.

**키워드:** 정성적 물리학, 공간 추론, 충돌, 자동차 충돌 사고 재구성

**Abstract** Reconstruction of collision accidents is to analyze the cause of accidents and collision behavior using available information from vehicle accident circumstances. This paper introduces a collision reconstruction system which is developed to be applicable to traffic accident reconstruction. Our system combines both quantitative and qualitative collision models so as to compensate for weaknesses in each with strengths of each other. It provides accurate predictions and causal explanations of the collision behavior. During reverse analysis of collision, qualitative simulation is used to verify a hypothesis and to detect any conflict in early stage of reconstruction. It is implemented and applied to real car-to-car collision accidents. The test results verify the reliabilities of our techniques.

### 1. 서론

자동차 충돌 사고 재구성이란 사고 상황으로부터 가능한 모든 정보를 수집, 분석하여 충돌로 인한 사

고 거동 및 원인을 규명하는 작업이다. 자동차 충돌 사고 재구성시 차량의 동적 거동은 사고의 진행 과정에 따라 충돌 전 거동, 충돌 거동, 충돌 후 거동의 3 단계로 나눌 수 있으며, 사고의 해석 과정은 사고 진행과정의 역순으로 이루어지게 된다. 신뢰성 있는 과학적 사고 재구성은 차량 사고의 급격한 증가와 함께 그 중요성과 필요성이 강력히 인식되고 있다. 기존의 자동차 충돌 사고 재구성 프로그램으로는 CRASH, ADVAP, ANAC, J2DACS, EEC-ARM 등이 있는데, 역적-운동량 이론에 근거한 동역학 해석을 통해 충돌 거동의 시뮬레이션을 수행하고 있다[1]. 이러한 프로그램들은 정확한 수치로 표현된 정량적 정보에만 의존하고 있는 실정이며, 따라서 수치 정보

\* 한신대학교 정보통신학과  
경기도 오산시 양산동 411, 우편번호:447-791  
Tel : 0339-370-6794 Fax : 0339-372-3343  
E-mail : hkim@hucc.hanshin.ac.kr

\*\* 아주대학교 컴퓨터공학과  
경기도 팔당구 원천동 아주대학교, 우편번호:442-749  
Tel : 0331-219-2442  
E-mail : hannah@madang.ajou.ac.kr

\*\*\* 홍익대학교 기계설계학과  
충남 연기군 조치원읍 홍익대학교, 우편번호:339-800  
Tel : 0415-60-2581  
E-mail : ihhan@wow.hongik.ac.kr

가 부족할 경우는 기존의 프로그램만으로는 사고를 재구성하는 것이 용이하지 않다. 실제로 자동차 충돌 사고에 있어서, 시간의 경과로 인한 사고 상황 보존의 어려움, 목격자의 부재 등으로 인하여 완벽한 수치 정보를 얻는 것이 어려운 실정이다. 특히 역해석은 본질적으로 단순 계산 결과가 신뢰성을 얻기 어려운 경우가 많으며, trial-and-error 계산 과정을 통해 오차를 줄여 가는 과정을 반복해서 거치게 된다. 이 과정에서 정확하고도 완벽한 수치 값은 절대적인 의미가 없다. 사용된 계수들은 주어진 상황을 고려하여 적절하게 근사해 나가는 방식의 반복 수행을 통해 적당한 값을 갖게된다. 또한, 완벽하고, 정확한 정량적 사고 관련 자료를 갖고 있다하더라도, 자동차 충돌 사고 분석시 실제로 70%이상의 경우는 정확한 동

력학의 계산 과정 없이 정성적인 분석만으로 재구성이 충분하다[2]. 이런 경우에는 정확한 계산에 의한 분석은 불필요하게 보인다.

정성적 정보에 기초하여 추론을 하는 정성적 물리학은 자동차 충돌 사고의 많은 경우처럼, 정확하고, 완벽한 정량적 정보가 없는 경우, 또는 정확한 정량적 분석이 필요 없는 경우의 문제 해결에 사용되기 위해 개발된 인공지능의 한 분야이다[3]. 정성적 물리학의 근본적인 목표 중의 하나는 정량적 지식을 사용하기 위한 토대를 제공하는 것이다. 과학과 공학 분야에서는 분야의 특성상 수치 데이터에 기초한 정량적 접근 방식이 사용되고 있다. 정량적 시스템은 주어진 현상을 정량적으로 해석하는데는 탁월하지만, 그 결과를 해석하는 기능은 갖추고 있지 않다. 본

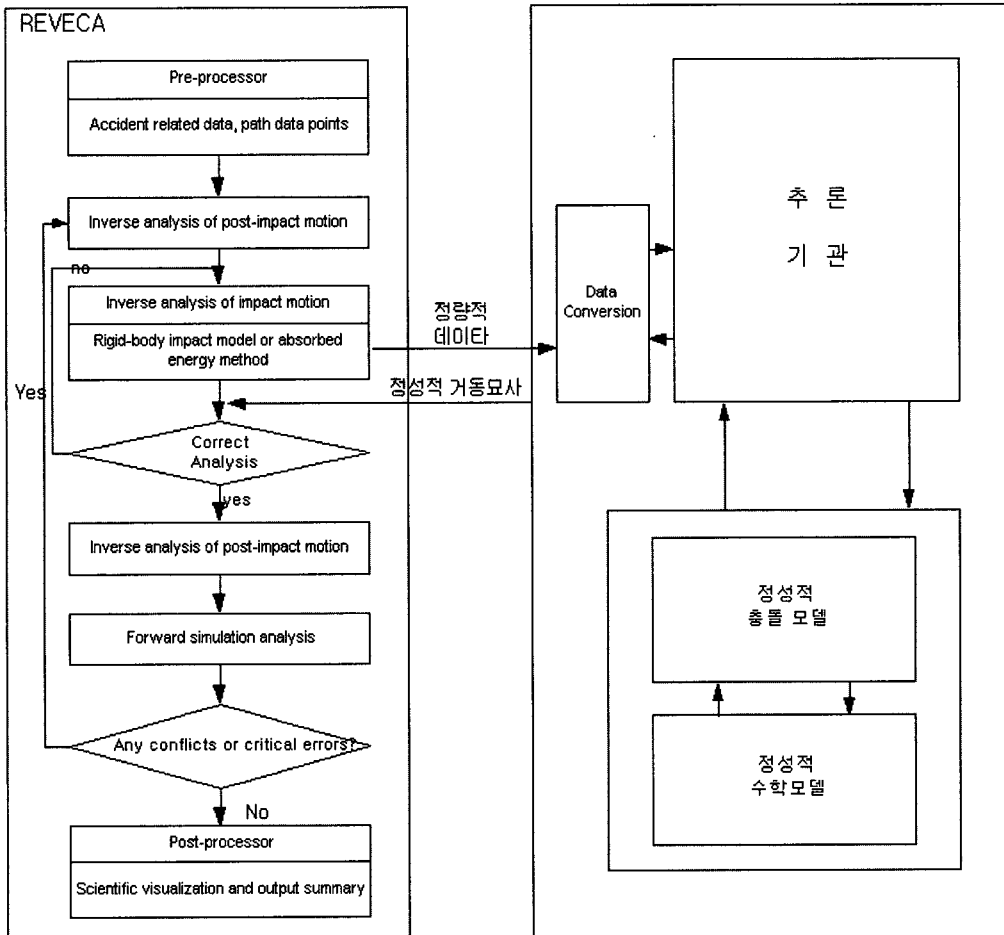


그림 1. 자동차 충돌 사고 재구성 시스템

논문에서는 이러한 제한점을 극복하기 위해 정성적, 정량적 접근 방식을 통합한 충돌 사고 재구성 시스템을 소개한다. 본 시스템은 충돌로 인한 강체의 거동에 대한 정확한 예측과 아울러 인과 관계의 설명을 제공함으로써 정량적 해석 결과의 이해를 도울 수 있었다. 역해석의 trial-and-error의 반복되는 과정에서 제시된 가설을 정성적 시뮬레이션을 통해 검증함으로써, 초기 단계에서 모순되는 가설을 찾아 낼 수 있었다.

본 논문에서는 통합 시스템의 정성적 추론을 통한 정량적 충돌 역해석 과정에서 정성적 추론을 통한 검증과정에 중점을 두고 서술하고자 한다. 통합 시스템은 독립적으로 개발된 2개의 충돌 해석 시스템으로 구성되어 있다(그림1). 2장에서는 통합 시스템의 정량적 해석 부분을 구성하는 시스템인 REVECA가 소개되며, 3장에서는 정성적 해석 부분을 구성하는 시스템이 소개된다. 4장에서는 통합 시스템에 대한 설명이 정성적 추론을 통한 검증에 초점을 맞추어서 기술된다. 5장에서는 실차 충돌 실험 자료를 이용하여 본 시스템의 충돌 해석 결과를 비교하였다. 마지막으로 본 논문의 요약 및 결론을 간략하게 설명한다.

## 2. REVECA

본 장에서는 개발된 통합 시스템의 정량적 해석 부분을 구성하고 있는 REVECA(4)에 대해 소개하고자 한다. REVECA는 사고 해석 전문가들의 조사업무를

과학적으로 지원하여 자동차 충돌 사고를 신뢰성 있게 구성할 수 있게 하는 데 직접 적용이 가능하도록 개발된 시스템이다. REVECA는 충돌 사고와 관련된 자료가 입력되면 충돌 후 거동, 충돌 거동, 충돌 전 거동의 3단계의 역해석을 통해 사고를 재구성하는 시스템이다. 해석 과정에 필요한 차량 제원, 사고 현장에서 얻을 수 있는 마크들, 도로의 상태, 사고 차량의 변형 및 파손정도 등의 자료가 입력되면, 다음과 같은 4단계의 해석 과정을 거치게 된다(그림1).

1. 충돌 후 미끄럼 거동의 역해석: 입력된 값들을 통하여 소산된 에너지를 구해 충돌 직후 속도를 계산한다.
2. 충돌 거동의 역해석: 계산된 충돌 직후 속도를 바탕으로 역적-운동량 이론과 충돌 중심점에서의 반발계수 및 역적비를 이용한 강체역학적 해석 모델 또는 충돌과정동안 소실된 에너지를 사용하는 구조역학적 해석 모델을 사용하여 충돌 직전 차량의 속도를 구한다.
3. 충돌 전 미끄럼 거동의 역해석: 충돌 직후 각 차량의 속도에 근거하여 충돌 사고가 예지되는 혹은 중요한 지점에서 차량의 초기속도를 계산한다.
4. 순해석: 초기 속도를 가지고, 일련의 순해석 작업을 역해석의 반대 순서로 수행하여 역해석 결과를 검증한다.

이러한 일련의 과정은 역해석을 통해 계산된 차량의 운동 경로와 초기에 유추된 운동 경로를 비교하여

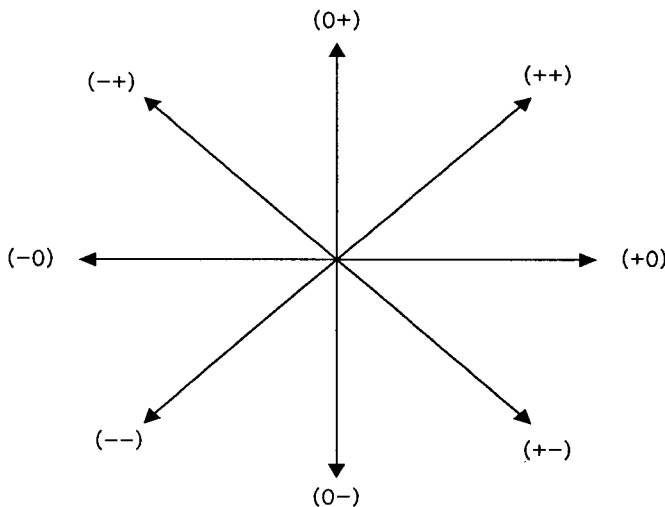


그림 2. 2차원 벡터

오차를 줄여가면서 반복된다. REVECA는 FORTRAN으로 PC상에서 구현되었다.

### 3. 정성적 충돌 시스템

본 장에서는 통합 시스템에서 사용된 정성적 충돌 분석 시스템(5,6)을 기술하고자 한다. 이 시스템은 충돌 직전의 정성적 묘사가 주어지면, 이로부터 충돌로 인한 힘과 운동의 전달을 분석하여 충돌 직후의 정성적 상태를 계산한다. 일반적으로 정성적 모델은 정량적 모델에 비해 다음과 같은 장점을 갖고 있다(7).

1. 지식 베이스가 정성적 모델로 표현되어 있다. 수치 모델과는 달리 정성적 모델은 완벽하지 않거나 정확하지 않은 지식을 사용하여 주어진 지식과 일치할 수 있는 가능한 모든 거동을 예측할 수 있다.
2. 정확하지 않은 파라미터 값, 함수 관계가 정성적 모델에서 표현될 수 있으며, 이를 추론에 이용할 수 있다.
3. 잘못된 가정을 검증할 수 있다. 정성적 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 거동을 예측함으로써, 최소한 모순되는 것은 발견할 수 있다.
4. 정성적 모델과 그로부터 추론된 결과는 이해하기 쉽다. 모델이 직관적이고 인과 관계적으로 구성되어 있으므로, 그러한 모델로부터 추론되는 결과는 사용자가 이해하기 쉬우므로 교육에 활용하기가 좋다.

본 정성적 충돌 추론 시스템은 충돌에 관한 분야 모델과 추론 기관으로 구성되어 있다(그림1). 분야 모델은 CLIPS, 추론 기관은 Visual C++로 구현되어 있다.

분야 모델은 충돌을 정성적으로 분석하는 충돌 모델과 정성적 연산을 제공하는 정성적 수학 모델로 구성되어 있다. 정성적 표현에서 숫자는 절대 값의 표현 없이 부호에 의해 표현되며, 필요하면 다른 숫자와의 비교하여 상대적 관계( $<$ ,  $=$ ,  $>$ )로 표현된다. 충돌을 해석하기 위해서는 물체의 운동방향, 물체의 공간에서의 위치, 가해지는 힘의 방향 등의 공간에서의 속성을 표현하여야 한다. 이러한 속성을 정성적으로 표현하기 위하여 정성적 벡터 표현법을 사용하였다. 벡터는 튜플로 표시되며, 각 축의 방향은 부호에 따라 -, 0, +로 표시된다(그림2). 정성적 수학 모델에서는 이와 같은 정성적 숫자와 정성적 벡터 표현, 이에 관련된 연산을 제공한다.

충돌을 설명하기 위해서는 물체의 공간적 속성에 기초하여야 한다. 보통 속성은 파라미터라고 하는데,

다음은 본 연구에서 사용되어 지는 물체의 주요 파라미터에 대한 간략한 설명이다.

1. *형태*: 본 연구의 대상인 강체 사이의 충돌은 물체 표면의 접촉을 통해서만 힘이 전달되며, 어떻게 기하학적으로 접촉하느냐에 따라 힘의 전달이 결정되어진다. 따라서, 본 연구에서는 강체의 형태는 그 강체의 표면(Surface, 외곽 경계선)들의 집합으로 표시하였으며, 두 물체의 접촉은 표면사이의 접촉으로 표현된다. 각 표면은 그 표면의 법선(Surface-Normal)과 그 표면으로부터 질량 중심방향(Origin-Dir)으로 표현된다.
  2. *Net-Force*: 물체에 가해지는 힘의 방향을 표현한다.
  3. *Distributed-Force*: 물체에 가해지는 직선 방향의 힘을 표현한다.
  4. *Torque*: 물체에 가해지는 토크를 표현한다. 시계 방향의 토크는 -, 반시계 방향의 토크는 +, 없는 경우는 0으로 표시한다.
  5. *Motion*: 물체의 직선 운동 방향을 표현한다.
  6. *Rotation*: 물체의 회전운동 방향을 표현한다. 토크와 같은 방식으로 표시한다.
  7. *Position*: 충돌 지점을 기준(00)으로 하여 상대적 위치를 표시한다. x-축의 경우 충돌 지점의 오른쪽은 +, 왼쪽은 -로 표현된다. y축 방향의 경우는 충돌 지점의 위쪽은 +, 아래쪽은 -로 표현하였다.
  8. *Configuration*: 물체가 서 있는 방향을 표시한다. 자동차의 경우 차량의 뒷면 중앙을 기준으로 하여 앞면 중앙의 상대적 위치를 표시한다.
- 충돌 모델은 이와 같은 정성적 표현에 기초하여, 두 강체 사이의 충돌로 인한 힘의 전달과 그에 따른 운동의 전달을 분석한다.
- 본 시스템의 추론 기관은 충돌 직전의 상태에 정성적 묘사가 주어지면, 충돌로 인한 거동을 예측한다. 이러한 거동은 충돌 직전, 충돌 순간, 충돌 직후의 정성적 상태를 계산하여 표현된다. 정성적 상태는 앞에서 설명된 관련된 물체의 파라미터로 표현된다. 주어진 상태에서의 파라미터의 변화를 계산하여 다음 상태를 계산한다.

### 4. 자동차 충돌 사고 재구성 시스템

통합된 시스템(그림1)은 REVECA에 의한 자동차 충돌 사고 재구성의 정확한 예측과 아울러 정성적 충돌 시스템에 의한 정성적 충돌 거동 묘사를 제공한다. REVECA의 충돌 거동 역해석 과정에서 제시된

해석 결과를 정성적 시뮬레이션을 통해 검증하는 과정이 추가되었으며, 이 과정에서 충돌 거동에 대한 정성적 설명도 제공되었다. 충돌 거동의 해석은 충돌 사고 재구성의 핵심적 역할을 하는 부분으로, 정성적 추론 시스템과의 통합을 통해 모순되는 역해석 결과를 미리 찾아낼 수 있었다. 또한 인과 관계의 정성적 설명을 제공함으로써 정량적 해석 결과의 이해를 도울 수 있었다. 정성적 추론이 가능한 충돌 거동과는 달리 충돌 전, 후의 미끄럼 거동은 그 복잡성으로 인해 정성적 추론을 적용하기가 용이하지 않았다. 따라서 통합된 시스템에서 충돌 전, 후 과정의 역해석에 정성적 추론은 포함되지 않았다.

#### 4.1. 데이터 변환

정량적 역해석에서 계산한 가설을 정성적으로 검증하기 위해서는 정량적 데이터의 정성적 데이터로의 변환이 필요하다. 이 시스템에서 요구되는 정성적 데이터는 두 차량 사이의 질량 비교값, 차량의 직선 운동 방향, 두 차량의 속도 비교값, 차량의 배치 모양(configuration), 충돌면에서의 무게 중심 방향, 충돌전 충돌 지점으로부터의 차의 위치, 차량의 충돌면의 위치, 충돌면에서의 법선 방향이다. 정성적 충돌 시스템은 REVECA로부터 역해석된 충돌전 차량 속도(m), 속도 방향각( $\phi$ ), 각속도( $\omega$ )등의 자료를 입력 받는다. 그림 3은 충돌하는 두 차량의 모델이며 입력

정보가 명시되어 있다. 이 정보들을 필요한 정성적 정보로 변환하는 방법은 다음과 같다.

1. 질량 비교값(mass) : 차량의 질량 비교 기준을 100kg으로 하여 차량 1이 2보다 기준 이상 크면 '>', 작으면 '<', 아니면 '='로 한다. 현재적으론 REVECA로부터 입력되는 정보에 차량의 질량이 없다. 따라서 디폴트값을 '='로 한다.
2. 직선운동 방향(motion) : 직선운동 방향은 입력된 속도 방향각을 이용하여 구한다. 본 논문에서는 방향 속성을 표현하기 위해서 벡터를 사용한다. 그림 3에서의 속도 방향각( $\phi$ )을 0~360° 범위의 값으로 바꾸어 그림 2의 벡터 좌표계의 값으로 변환한다.
3. 속도 비교값(velocity ratio) : 두 차량의 속도 값의 차를 이용하여 구한다. 속도 차가 10 이하인 경우는 속도가 같다고 간주하였다.
4. 배치 모양(configuration) : 현재 데이터는 항상 직진하는 경우라고 가정한다. 따라서 속도방향각과 configuration 값은 일치한다.
5. 무게중심 방향(origin direction) : 충돌면의 위치와 configuration을 이용하여 구한다.
6. 충돌지점으로부터의 차의 위치(position) : 차의 운동 방향과 반대 방향이다.
7. 충돌면의 위치(surface) : 입력값으로 주어진다.
8. 법선 방향(normal vector) : 충돌시 좌표계는 차 1의 접촉면의 방향이 x방향에 해당된다. 접촉면에

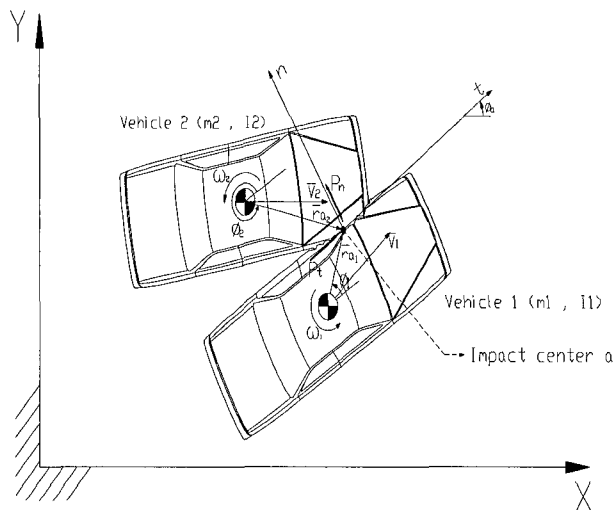


그림 3. Modeling of colliding vehicles

수직인 방향이 normal vector 방향이므로 normal vector는 y축 방향인 (0+)의 값을 갖는다.

### 4.2 역해석 결과의 검증 및 설명

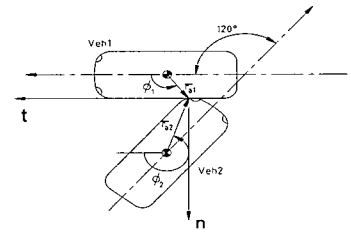
본 통합 시스템에서는 REVECA의 충돌 역해석 과정의 분석 결과를 입력받아, 정성적 추론을 역해석의 반대 순서로 수행하여 역해석 결과를 검증한다. 이때 REVECA의 역해석 과정에서 제공되는 결과는 앞 절에서 기술된 변환 과정을 통해 정성적 상태로 변환되어 정성적 추론 기관에 주어진다. 정성적 추론을 통해 주어진 역해석 결과에서 모순이 발견되면 역해석 과정은 반복된다. 정량적 자동차 충돌 역해석은 본질상 강제 동역학 모델의 한계, 사고 조사자의 실수 또는 증거 불충분으로 인한 계산에 필요한 계수들의 불확실성에 의한 오차는 피할 수 없는 상황이므로 이러한 정성적 추론을 통한 검증은 유효하다고 판단된다.

역해석에 대한 정성적 추론을 통한 이와 같은 검증 과정에서, 추론 기관은 충돌 거동에 대한 정성적 설명을 제공함으로써 사용자의 이해를 돕게 하였다. 설명 기능을 갖춘 시뮬레이션은 수치 모델에 의해 예측된 거동이 의미가 있는지 없는지 알아보는 것을 도와 준다. 일반적으로 훈련이나 교육을 위한 추론 시스템에서 수치 시뮬레이션에 설명 기능이 추가되면 그 효과가 훨씬 향상되리라 기대할 수 있다 [8,9].

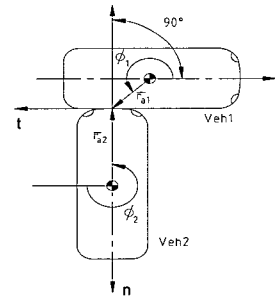
### 5. 실차 충돌 예제

본 통합 시스템은 JARI에서 수행한 45회의 충돌 실험 결과와 NHTSA의 RISAC 실험 자료[10]를 포함한 다양한 경우의 충돌 사고에 적용하여 구성 모델의 유효성을 입증할 수 있었다. 그림 4는 충돌 실험에서 설정한 여러 유형 중 일부를 보여주고 있으며, 표1은 그림 4의 (b) 유형에 대한 충돌 직전의 자료를 보여주고 있다. 여기에는 JARI와 RISAC의 실차 충돌 실험 결과(Exp)와 REVECA의 충돌 거동 역해석에 의해 계산된 2가지의 추정치(IEST1, IEST2)가 포함되어 있다. 표2는 표1의 각 경우의 충돌 직전 자료를 정성적 자료로 변환하여 얻은 충돌 직전의 정성적 자료가 포함되어 있다. 또한 이 표에는 각 경우에 대한 충돌 직후의 운동 방향과 회전 방향을 보여주고 있다. Exp의 경우는 실차 실험 결과를 보여주고 있으며, 추정치의 경우는 변환된 충돌 직전의 정성적 자료로부터 정성적 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과이다. 정성적 정보를 사용하는 특성으로 인해 모호한

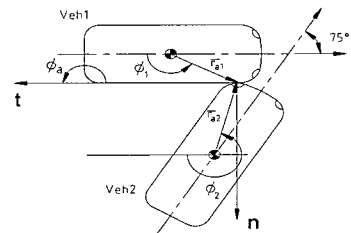
경우(?)가 포함되어 있다. 추정치는 실험 결과와 정성적으로 모순이 되는 경우가 거의 없음을 알 수 있다. S90T14의 경우를 보면 첫 번째 추정치 값(IEST1)의 경우, 충돌 후 차 2의 회전 방향(rotation2)이 입력된 충돌 후 회전 방향과 전혀 다름을 볼 수 있다. 이것은 차 2가 차 1로부터 받은 힘의 방향(토크)이 잘못되었음을 보여준다. 차가 다른 차량으로부터 받는 힘의 방향은 충돌전 차들의 운동 방향에 의해 결정된다. 따라서 추정된 차의 운동 방향 값이 잘못 계산되었음을 예측할 수 있다. 그림 5는 정성적 추론이 제공하는 S90T2 경우의 설명 부분을 보여주고 있다.



(a) 120° Front to Side



(b) 90° Front to Side



(c) 75° Front to Side

그림 4. Initial vehicle configurations for experimental collisions-JARI

Collision ID		Vel. of Veh1 (m/s)	$\phi_{a1}$ (Deg.)	$\omega_1$ (rad/s)	Vel. of Veh2 (m/s)	$\phi_{a2}$ (Deg.)	$\omega_2$ (rad/s)	e	$\mu_r$	$\rho$
S90T2	Exp.	0.00	*	0.00	13.75	-97.98	0.00	-0.12	0.00	0.30
	IEST1	2.30	-169.72	0.98	13.23	-93.42	1.28	-0.15	-0.50	0.28
	IEST2	1.16	-121.22	0.56	12.86	-101.26	-0.51		0.00	0.21
S90T11	Exp.	17.36	180.00	0.00	5.58	-90.00	0.00	0.20	-0.68	0.16
	IEST1	20.15	174.85	2.58	8.36	-68.10	3.12	0.10	-1.03	0.44
	IEST2	20.15	174.85	2.58	8.36	-68.10	3.12		-1.03	0.44
S90T12	Exp.	11.20	0.00	0.00	11.30	-90.00	0.00	0.12	0.67	0.36
	IEST1	4.12	11.20	2.40	13.26	-60.79	6.78	0.12	-0.70	0.41
	IEST2	13.02	-0.18	-0.67	11.01	-103.08	-2.60		1.20	0.46
S90T14	Exp.	16.70	180.00	0.00	8.50	-90.00	0.00	0.06	-0.85	0.27
	IEST1	5.49	159.98	-4.18	15.69	-140.51	-13.59	0.05	1.55	0.55
	IEST2	17.00	175.72	0.62	9.34	-88.77	0.14		-0.71	0.32
S90T15	Exp.	5.56	0.00	0.00	8.47	-90.00	0.00	0.31	0.16	0.12
	IEST1	4.31	10.42	-0.54	9.47	-82.72	1.31	0.24	-0.35	0.18
	IEST2	5.22	5.72	-0.60	9.13	-88.43	0.10		0.00	0.18
S90T19	Exp.	17.17	180.00	0.00	5.50	-90.00	0.00	0.08	-1.01	0.23
	IEST1	18.83	172.40	1.70	7.71	-82.47	0.40	0.04	-0.80	0.40
	IEST2	18.83	172.40	1.70	7.71	-82.47	0.40		-0.80	0.40

표 1. 충돌 직전 자료 - 실험치, 추정치

Collision ID	vel_r	imc1	imc2	vel1	vel2	origin1	origin2	config1	config2	after collision				
										vel1	rotation1	vel2	rotation2	
S90T2	Exp.	<	RF	CFL	+0	--	+-	-+	+0	--	--	CCW	--	CCW
	IEST1	<			--	0-			--	--	-?	CCW	-?	CCW
	IEST2	<			--	--			--	--	??	CCW	??	CCW
S90T11	Exp.	>	RB	CFL	-0	0-	--	-+	0-	0-	--	CW	--	CW
	IEST1	>			-0	+-			--	+-	?-	CW	??	?
	IEST2	>			-0	+-			--	+-	?-	CW	??	?
S90T14	Exp.	=	RB	CFL	-0	0-	--	-+	0-	0-	--	CW	--	CW
	IEST1	<			-+	--			--	??	?	??	CCW	
	IEST2	=			-0	0-			--	+-	--	CW	--	?
S90T15	Exp.	=	LB	CFL	+0	0-	+-	-+	+0	0-	+-	CCW	+-	CCW
	IEST1	=			++	0-			+-	+-	??	CCW	??	CCW
	IEST2	=			+-	0-			+-	+-	??	?	??	?
S90T19	Exp.	>	RB	CFL	-0	0-	--	-+	-0	0-	--	CW	--	CW
	IEST1	>			-0	0-			--	+-	--	CW	--	CW
	IEST2	>			-0	0-			--	+-	--	CW	--	?

표 2. 충돌 분석 결과

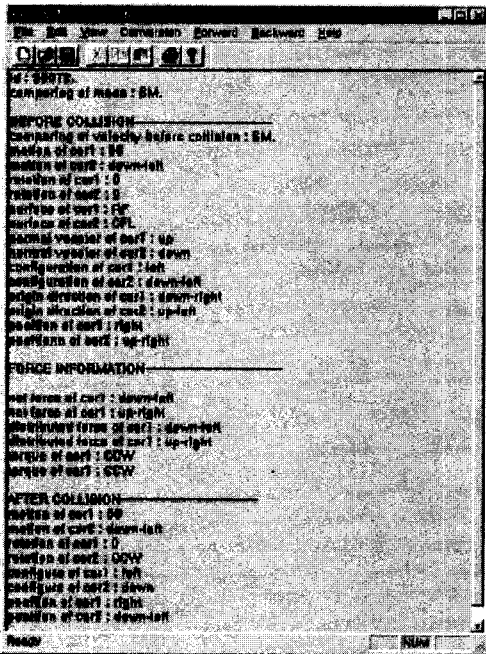


그림 5. S75T1 충돌에 대한 충돌 거동의 설명

## 6. 결론

본 논문에서는 자동차 충돌 사고 해석 전문가들의 조사업무를 과학적으로 지원하여 자동차 충돌 사고를 신뢰성 있게 구성할 수 있게 하는 데 직접 적용이 가능한 자동차 충돌 사고 재구성 시스템을 소개하였다. 본 시스템은 정량적 충돌 모델과 정성적 충돌 모델을 통합함으로써, 충돌로 인한 거동에 대한 정확한 예측과 아울러 정성적 추론을 통한 충돌 역해석 결과의 검증 및 인과 관계의 설명을 제공한다. 정량적 모델은 기존의 자동차 재구성 시스템과 같이 수치로 표현되는 거동을 계산한다. 정성적 모델은 충돌로 인한 거동의 정성적 분석을 통해 정량적 충돌 역해석 과정에서 제시된 결과에 대한 모순을 찾아내는데 사용될 수 있으며, 충돌 거동에 대한 인과 관계의 설명을 제공함으로써 충돌 거동을 정성적으로 묘사한다. 이와 같은 정성적 충돌 해석은 복잡한 정량적 해석 결과를 이해하는데 도움이 되리라 기대된다. 본 시스템은 JARI 및 RISAC 실차 충돌실험 결과를 이용한 해석 과정을 통해 충돌 모델의 신뢰성 및 유용성을 입증할 수 있었다.

## 후기

이 연구는 과학재단 과제 번호 96-0200-13-01-3에

의하여 연구되었음.

## 참고문헌

- [1] 한인환, 김현경, 장인식, 신영길, "특정연구과제 연구계획서", 1996
- [2] Baker, L., Freink, L., "The traffic-accident investigation manual," Northwestern University Traffic Institute, 1986
- [3] Bobrow, D., "Qualitative reasoning about physical systems," MIT press, 1986
- [4] 한인환, "자동차 충돌 사고 재구성 시스템," 자동차 공학회 춘계학술대회논문집, 1999
- [5] 김현경, "자동차 사고 재구성 전문가 시스템의 설계," 한국전문가시스템학회지, 제4권2호, 1998
- [6] 김현경, 명한나, "충돌의 정성적 추론에 관한 연구," 한국정보과학회논문지, 제26권 11호, 1999
- [7] Dvorak, D., Kuipers, B., "Process monitoring and diagnosis: a model-based approach," IEEE Expert 6(3), 1991
- [8] Forbus, K., Falkenhainer, B. "Self-explanatory Simulation: Integrating Qualitative and Quantitative Knowledge," Proceedings of AAAI-90, 1990
- [9] Forbus, K., Falkenhainer, B. "Scaling up Self-explanatory Simulators: Polynomial-time Compilation," Proceedings of IJCAI-95, 1995
- [10] 한인환, "자동차 사고 재구성을 위한 충돌 해석," 자동차공학회논문집, 제6권2호, 1998