

2차원 데이터를 활용한 3차원 충돌 변형 측정 방법

한인환^{*1)} · 강희진²⁾ · 박종찬³⁾ · 하용민³⁾

홍익대학교 기계정보공학과¹⁾ · 홍익대학교 학부생²⁾ · 국립과학수사연구원 교통사고분석과³⁾

Three-dimensional Crush Measurement Methodologies Using Two-dimensional Data

Inhwan Han^{*1)} · Heejin Kang²⁾ · Jong-Chan Park³⁾ · Yongmin Ha³⁾

¹⁾Department of Mechanical and Design Engineering, Hongik University, Sejong 339-701, Korea

²⁾Undergraduate, Hongik University, Sejong 339-701, Korea

³⁾Traffic Accident Analysis Division, National Forensic Service, 10 Ipchun-ro, Wonju-si, Gangwon 220-170, Korea

(Received 18 August 2014 / Revised 18 December 2014 / Accepted 28 December 2014)

Abstract : This paper presents 3D collision deformation modelling methodologies using photogrammetry for reconstruction of vehicle accidents. A vehicle's deformation shape in collision provides important information on how the vehicle collided. So effective measurement(scanning) and construction of a corresponding appropriate model are essential in the analysis of collision deformation shape for obtaining much information related to collision accident. Two measurement methods were used in this study: Indirect-photogrammetry which requires relatively small amount of photos or videos, and direct-photogrammetry which requires large amount of photos directly taken for the purpose of 3D modelling. When the indirect-photogrammetry method, which was mainly used in this study, lacked enough photographic information, already secured 2D numerical deformation data was used as a compensation. This made 3D collision deformation modelling for accident reconstruction analysis possible.

Key words : Photogrammetry(사진측량), Collision deformation(충돌 변형), 3D modelling(3차원 모델링), 2D data(2차원 데이터), Accident reconstruction analysis(사고 재구성 해석)

1. 서론

사고 재구성 해석¹⁾에서 차량의 충돌 속도를 정확하게 추정하는 것은 대단히 중요하며, 이와 관련하여 과거에는 2차원 충돌 변형 연구가 활발하였다. 1974년 Campbell²⁾에 의해 (2차원) 충돌변형량과 충돌속도(변형에너지)를 관련하는 단순한 실험식이 최초로 제시되었으며, 이후 다소 개량된 몇 개의 모델들과 함께 Crash 계열의 해석 프로그램들과 자동차 충돌 사고 분석 실무에서 전 세계적으로 최근까지 널리 활용되어왔다. 이러한 1970년대의 충돌 강

성계수에 근거한 2차원 충돌변형을 활용하는 방법은 그 자체 측량이나 속도 계산의 불편함을 감수한다 하더라도 그 결과의 정확성에 국내외적으로 현재 신뢰를 받고 있다고 보기 어렵다. 오늘날 차량의 형상은 수십년전과는 많은 차이가 있으므로 Campbell 모형과 또는 이에 근거한 많은 충돌 모형들이 대개 적합하지 않을 수 있다.

충돌 사고와 관련한 주요 정보를 포함하고 있는 충돌변형형상은 사고 상황에 따라 복잡하게 변화하며, 이의 정확한 분석은 사고 재구성 해석에서 결정적인 역할을 차지한다. 그런데, 3차원적인 전면부의 형상을 가지는 현재의 차량들에 대한 충돌 해석에

*Corresponding author, E-mail: ihhan@hongik.ac.kr

서 종래의 단순한 2차원적 변형측량과 모형 그리고 모델링 등은 명백한 한계를 가질 수밖에 없다.

근래에는 차량 충돌 변형형상 3차원 측정/모델링과 이러한 결과들의 사고재구성 분석 활용을 위한 연구들이 수행되고 있다. Várkonyi-Kóczy 등³⁾은 3차원 충돌변형모델링 방법과 해석을 위한 처리 과정들을 제시하고, 충돌변형형상에 근거하여 충격방향과 충격 흡수 에너지를 추정하는 방법을 구하였다. 한편, 사진 측량의 경우에는 1990년대말부터 자동차 충돌사고 분석 실무에서 널리 사용되기 시작하면서 2008년도에 Rucoba 등⁴⁾은 2차원 사진들로부터 3차원 변형을 측정하는 기법을 소개하고, 수작업과 사진측량 그리고 토탈스테이션(Total station) 측량의 비교를 통해 자기들이 개발한 사진측량의 유효성을 입증하고 활용방안 등도 제시하였다. 2013년에 Erickson 등⁵⁾은 Autodesk사의 123D Catch⁶⁾ 프로그램을 도구로 활용하는 사진기반 3D 모델링 수법을 충돌사고차량을 대상으로 하여 제시하였다. 그리고 최근 보급되기 시작한 3차원 스캐너와 관련하여서는 Tandy 등⁷⁾이 충돌 사고 차량 3차원 측량 및 모델링 방법들과 사고 재구성 분야에서의 활용방안들을 다양하게 제시한 바 있다.

차량의 3차원 충돌변형 형상을 비교적 정확하고 용이하게 측정하는 방법에는 사진 측량 혹은 3차원 스캐너를 활용한 측량 등이 있다. 본 연구에서 사진 측량이란 사진이나 동영상자료로부터 3차원 좌표를 획득하고 사고정보를 추정하는 측량법이다.⁸⁾ 사진측량은 사고 발생 시 현장에서 가장 빠르고 손쉽게 정보를 취득할 수 있지만, 후처리에 비교적 많은 시간과 노력이 들어 갈 수 있으며 작업하는 사람에 따라 품질의 차이가 크게 되며 적절한 모델의 구성이 가능하지 않을 수도 있다. 그러나 기존 충돌사고/시험에 대한 사진자료가 많기 때문에 사고 재구성 분야에서 활용성은 대단히 크다. 사진측량은 이미 확보한 충돌변형 사진을 활용하는 간접사진측량과 3차원 모델링 목적으로 직접 촬영한 사진을 활용하는 직접사진측량으로 구분할 수 있다. 특히, 본 연구에서 주로 다루고 있는 간접사진측량은 사진으로부터 3차원 충돌변형형상을 이끌어 낼 수 있으며 사진 정보가 부족한 경우 2차원 수치 데이터를 활용⁹⁾할

수 있다. 본 연구에서는 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)¹⁰⁾ 충돌시험 DB에서 충돌 전후 차량 사진 자료와 2차원 변형량(C_i)를 활용하였다. 이와 동일하게 통상의 충돌사고 조사/분석 과정에서도 기 확보한 충돌 차량 사진/동영상 자료 등을 활용할 수 있으므로, 본 연구에서 제시하는 간접사진측량의 활용 범위는 대단히 넓은 편이다. 3차원 스캐너를 활용하는 방법은 사진측량보다 실제에 가장 근접하는 충돌변형모델을 생성할 수 있지만, 구입 및 보수유지 비용이 높고 휴대성이 떨어지며 상대적으로 긴 작업 시간 등으로 사고현장에서 당장의 활용도가 높다고 보기 어렵다.

본 논문에서는 기 촬영된 사진 및 영상자료(충돌 DB) 활용 혹은 충돌 변형된 차량의 직접 사진 촬영을 통한 3차원 충돌변형 모델 구성 방법들을 개발하고 그 결과들을 제시한다. 그리고 사고 재구성 분야에서의 구체적 활용 방안에 대하여 토의한다.

2. NHTSA 충돌시험 DB와 3D 변형 측정

3차원 충돌변형 측정 및 모델링을 위한 자료를 얻기 위해, 쉽게 접근할 수 있고 복미 수출차량 대개의 충돌시험 데이터가 포함된 NHTSA DB를 선택하였다. NHTSA DB 말고도 IIHS(Insurance Institute For Highway Safety)¹¹⁾에 전 세계에서 제조되는 차량별 충돌시험데이터가 있다. 그러나, 효과적인 모델링을 위한 사진의 양이나 질이 비교적 부족하고 2차원 충돌 변형량(C_i)이 거의 포함되지 않아 제외하였다.

NHTSA DB에 있는 수많은 자동차 회사의 다양한 차량들에 대한 충돌시험자료에서 대상으로 선정한 것은 국내 자동차 회사들의 복미수출차량들이다. NHTSA에서 수행하는 충돌시험에는 1) 정면충돌, 2) 측면충돌, 3) 측면 기동충돌, 4) 오프셋 충돌, 5) 운전자상해도측정이 있는데, 5번째를 제외한 자료를 본 연구에서 활용하였다. NHTSA의 충돌시험은 정면충돌일 경우 56km/h, 측면충돌일 경우 62km/h, 측면 기동충돌일 경우 32km/h로 이루어진다. 이 중에서 2000년 이후 생산되었고 국내에서 운행하고 있는 준, 중형 자동차에 대한 정면, 측면, 기동, 오프셋 충돌 시험 등 대략 100여개의 케이스를 추출하여 3차원 충돌변형 측정 및 모델링을 수행하였다.

3차원 충돌변형 측정 및 모델링을 위한 사진 측량에는 간접사진측량과 직접사진측량이 있다. 간접사진측량이란 기존에 확보된 충돌 변형 차량의 사진 또는 동영상 자료를 이용하여 충돌변형 측정 및 모델링을 하는 방법이다. 간접사진측량에는 사진 및 동영상 자료 외에 변형 측정 관련 수치적 자료를 보완적으로 사용할 수 있다. 간접사진측량에서 효과적인 변형정보를 얻기 위해 대상 차량의 변형전 모델도 필요하다. 본 연구에서 간접사진측량에 활용한 소프트웨어는 사진측량 프로그램인 포토모델러(Photomodeler)¹²⁾ 그리고 포토모델러와 호환성이 좋은 3차원 모델링 프로그램인 라이노(Rhino)¹³⁾이다.

직접사진측량은 3차원 모델링을 목적으로 작업자가 직접 사진이나 영상을 촬영하여 측량하는 방법이다. 따라서 충분한 수량의 사진을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 적합한 촬영기법과 각도를 통한 사진들을 확보하기 때문에 간접사진측량보다 훨씬 정교한 충돌변형 모델링과 변형수치를 얻을 수 있다. 직접사진측량에서는 많은 수량의 다양한 사진을 활용하므로, 간접사진측량에서와는 달리 사진 기반 3차원 스캐닝이 가능한 123D Catch⁶⁾를 이용한 3차원 모델링이 가능하다. 이 방법은 앞서 소개한 포토모델러와 라이노를 활용한 방법보다 편리하며 실제 차량과 더 유사한 모델의 구성을 가능하게 한다. 이 방법은 다양한 사진이 필요하므로 NHTSA 충돌시험 DB 등에는 사용할 수 없다. 사진을 활용한 3차원 스캐닝 프로그램으로 D-Sculptor, iModeller 3D, Photomodeler® Scanner등⁵⁾이 있지만, 123D Catch가 무료프로그램이고 사용법이 비교적 간편하여 본 연구에서 선택하였다.

최근에는 3D스캐너를 활용하여 실제 차량에 거의 근접하는 3차원 모델을 구성하는 방법이 있다. 3D 스캐너는 스캐너에서 출발 후 반사되어 돌아오는 레이저를 통해 물체들의 3차원 점 좌표를 인식하고, 이러한 점들의 구성으로 물체를 스캐닝한다. 점들의 구성을 포인트 클라우드(point cloud)라고 하며, 이것을 CAD/CAE 프로그램을 통해 모델로 가공하여 측량한다. 3D스캐너는 실제 차량과 가장 근접하게 모델링이 가능한 방법이지만, 가격이 고가이고 스캐닝을 위한 사전 설치 작업이 있어야 하며 후

대성이 좋지 않다. 그리고 3차원 충돌변형 모델을 생성하기 위한 스캐닝 후처리 과정도 사진측량에 비해 많은 시간이 소모될 수 있다. 한편, 수작업측량은 오랫동안 충돌 사고현장에서 사용되어 왔으며 간편하게 측량할 수 있는 방법이지만, 대개 2차원 과손 단면 형상을 추출하는 방법이다. 따라서 적절한 3차원 충돌변형 측량을 수행하기가 대단히 어렵다. 또한 사진 측량이나 3D 스캐너 측량과 비교할 때 정확도가 현저히 떨어질 뿐만 아니라 작업자의 숙련도에 따라 편차가 크게 된다.

3. 3차원 변형 간접사진측량

3.1 NHTSA 2차원 변형량 활용

3차원 충돌변형 사진 측량이라고 볼 수는 없지만, 3차원 충돌 변형량(체적)을 측량하기 위해서는 NHTSA 정면충돌시험 데이터의 2차원 변형량(C_i)를 활용하는 방법⁹⁾이 있다. 이 방법을 활용하기 위해서는 대상 차량의 충돌변형 전 모델이 필요하다. 충돌변형 전 차량의 모델링을 위해 3차원 좌표 생성은 포토모델러를 활용하였고 서페이스(surface) 생성, 변형 모델링, 체적 추정은 라이노를 이용하였다. 포토모델러에서 충돌 전 모델의 3차원 좌표를 생성하기 위해 NHTSA 데이터내의 충돌 변형 전 차량의 사진을 활용하였다. Fig. 1은 C_i 를 활용하여 충돌변형모델을 생성하는 과정을 나타낸다. NHTSA 정면충돌시험 데이터 내에서 활용되는 사진은 Fig. 2에 보여지는 것처럼 모두 4장으로 (a) 정면(front view), (b) 우측정면 45°(right front three-quarter view), (c) 좌측(left side view), (d) 좌측후면 45°(left rear three-quarter view)이다. 이 사진만으로는 변형 전 차량 모델링이 불가능하므로 사진을 추가해서 작업해야 한다. 추가되는 사진은 차량이 좌우로 대칭되는 성질을 이용하여 이미지편집 프로그램에서 사진을 대칭 복사했다. 우측 정면 45도, 좌측, 좌측 후면, 총 3장의 사진을 대칭 복사하였고 모두 7장의 사진으로 변형 전 차량 모델링을 하였다. 7장의 사진으로 포토모델러에서 3차원 좌표 및 와이어프레임을 생성하고 라이노에서 서페이스 및 솔리드를 생성하여 모델링 된 차량 체적을 추정하였다.

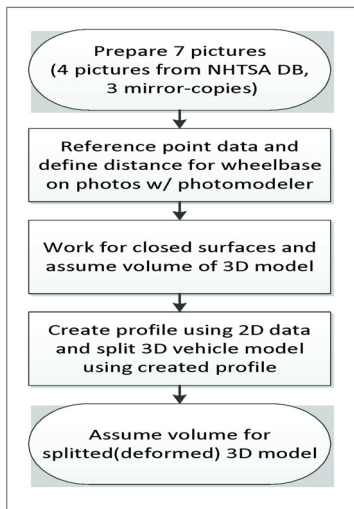


Fig. 1 3D modelling process based on 2D crush measurements

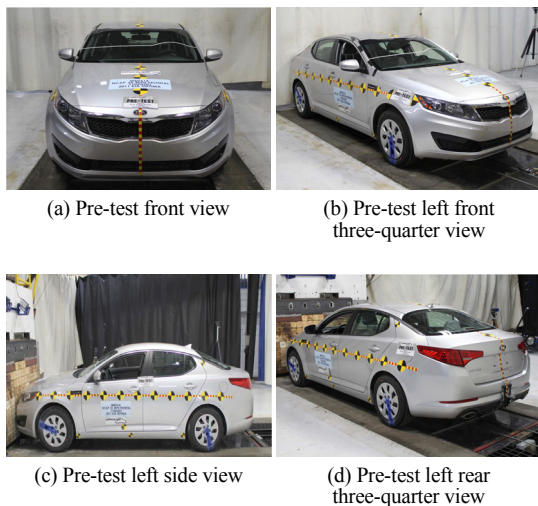


Fig. 2 Utilizing photographs of NHTSA DB⁽¹⁰⁾ for 3D vehicle modelling

포토모델러에서 각 7장의 사진에 점을 생성해서 레퍼런싱(referencing)해야 한다. 작업순서는 정면사진, 정면 45° 사진, 좌우측사진, 후면 45° 사진 순이다. 점을 생성할 때는 차량 각 부위별 모서리나 선과 선이 만나는 지점에 점을 생성하는 것이 좋다. 또한 점을 생성하고 선을 생성 할 때 점과 점 사이를 직선으로만 연결한다면 차량 모델링의 볼륨감이 떨어지고 곡선으로만 생성한다면 차량 형태가 왜곡되기 때문에 적당한 곡선 생성이 필요하다. Fig. 3(a)는 포

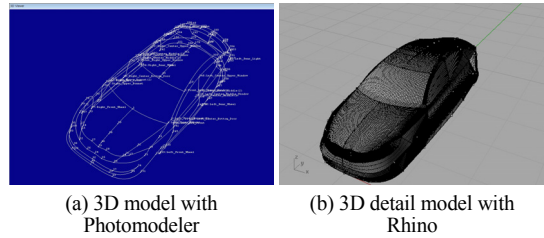


Fig. 3 3D model with Photomodeler and Rhino

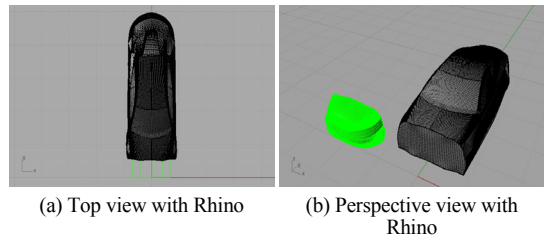


Fig. 4 Separating a 3D vehicle model into two parts by using two dimensional deformation profile C_i

토크모델러에서 7장의 사진으로 생성된 3차원 모델이다. 포토모델러에서 생성된 모델을 라이노에서 서페이스(Surface)작업을 하게 되면 Fig. 3(b)와 같이 3차원 모델의 형상이 구체화된다.

완성된 변형 전 모델을 생성한 후, 충돌로 인한 변형형상 및 변형체적을 추정하기 위해 여기서는 2차원 변형량 C_i 를 이용한다. 각종 충돌시험에서 측정하는 C_i 값은 차량의 파손부위를 6등분하여 범퍼 중간높이에서 각 등분마다 변형된 거리를 측정된 값이다. 2차원 변형량 C_i 를 활용하여 변형체적을 추정하기 위해 라이노에서 파손 너비의 선을 생성하고 선에 동일한 간격으로 6점을 생성한다(Fig. 4(a)). 변형 전 모델의 범퍼 중간 높이와 생성한 선의 높이를 맞추는 작업을 한다. 각각의 점에서부터 변형 전 모델까지 수직 선을 생성한다. 그리고 NHTSA 충돌시험 데이터에 기록된 C_i 값 만큼 각 점에서 연장하여 선을 생성한다. 연장하여 생성된 선의 끝점을 이으면 2차원 변형량 C_i 를 활용한 파손 단면이 된다. 파손 단면을 이용하여 Fig. 4(b)와 같이 분할하여 변형형상 및 변형체적을 추정한다. 이 방법은 충돌전 차량의 3차원 형상은 반영되지만, 변형 체적을 추정하기 위해서는 2차원 변형량을 활용하며 실제 3차원 충돌 변형은 반영하지 못한다.

Table 1 Measurement of 3D crush volume

Maker	Model	Year	Test no.	Impact velocity (km/h)	Volume (m^3)	ΔV (m^3)	Total error
KIA	K5	2011	7347	56.3	7.29	0.44	2.87
Chevrolet	Aveo (Kalos)	2004	4917	56.3	5.57	0.50	3.03
Chevrolet	Aveo (Kalos)	2007	5873	56.3	6.72	0.41	1.04
Chevrolet	Cruze	2011	7158	56.3	6.92	0.41	4.75
Chevrolet	Malibu	2011	6998	56.5	6.92	0.46	4.09
Hyundai	Azera (Gran deur)	2006	5591	56.7	7.09	0.38	2.71

Table 1은 변형 전 모델과 2차원 변형량을 활용하여 라이노에서 생성한 변형형상의 체적, 그리고 포토모델러의 총 오차(total error)이다. 충돌속도는 동일하나 차량종류에 따라 2차원 변형량을 활용한 변형체적이 다소 다르게 나타났다. 총 오차는 1에서 5 정도 사이값을 나타냈다. 포토모델러에서 총 오차는 3차원 모델의 축적에러의 분산을 나타낸다.¹²⁾ 여기서 통상 1.0 이하일 경우 성공적인 작업이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 사진을 촬영한 카메라에 대한 보정(calibration)을 하지 않았기 때문에 총 오차를 1.0 이하로 낮추는 건 어렵다. 그러나 총 오차의 값이 보정을 거치지 않고도 5이하의 값들이 나왔다. 총 오차 1~5 사이의 값은 카메라의 보정으로 해결될 수 있는 값이고 5 이상의 값들은 매우 좋지 않은 결과이다. Fig. 5는 K5차량을 3D 스캐너를 활용하여 메시 모델링(mesh modelling)한 것을 나타내고, 체적 측정값은 $7.45m^3$ 이다. 이 부피측정값은 Table 1에 나온 사진측량으로 추정된 K5의 체적 $7.29m^3$ 보다 다소 크다. 사진측량으로 모델링하기 위해서는 차량의 복잡한 형상대로 할 수 없고 단순하게 접근해야 된다. 따라서 모델이 단순해지면서 손실되는 체적이 존재할 수 있기 때문에 사진측량한 체적이 다소 적게 나온 것으로 여겨진다.

차량의 충돌형상은 충돌당시의 속도와 방향 등의 충돌정보를 가지고 있다. 기존 연구들은 2차원 변형



Fig. 5 K5(2011) mesh model using 3D scanner

량 C_i 를 활용하여 충돌속도를 추정하였지만, 최근에는 3차원 변형량인 변형체적을 활용하여 충돌속도를 추정하려는 연구 보고⁹⁾도 있다.

3.2 간접사진측량-사진자료 활용

본 연구에서 제시하는 간접사진측량은 전술한 2차원 변형량 C_i 를 이용해 측량하는 방법과는 다르다. 간접사진측량법은 충돌변형 후 차량 사진을 가지고 측량하는 방법으로, 3차원 충돌변형모델을 구성할 목적으로 촬영하지 않은 사진을 활용한다. 예를 들어, 사고 현장 증거 사진과 차량용 블랙박스 영상 등이 있다. 그리고 차량 전체의 사진촬영이 불가능할 경우에 충돌변형부만 촬영하여 활용할 수 있다. 2차원 변형량 C_i 와 같은 수치적 데이터가 무조건 요구되지 않는다. 사진 수는 다른 각도에서 촬영된 2장 이상이면 좋다. 측량 방법은 포토모델러와 라이노를 이용한다. 그리고 측량을 위해서는 포토모델러에서 변형 전 차량 모델이 요구된다. Fig. 6은 간접사진측량으로 충돌변형 모델을 구성하는 순서를 요약하고 있다.

간접사진측량에서 포토모델러의 변형 전 차량 모델을 활용하기 위하여, 전절에서와 같이 생성한 변형 전 차량 모델을 *.dxf(3D)로 내보내기하면 3차원 와이어프레임 데이터를 생성할 수 있다. 내보냈던 파일을 포토모델러에서 *.dxf(3D) 파일로 불러올 수 있다. 이와 같이 불러온 파일과 충돌변형 차량 사진을 이용하여 측량할 수 있다. 예시를 위해 NHTSA 충돌시험 데이터에 존재하는 변형 후 차량 사진을 이용하였다. NHTSA 충돌시험 데이터에서 활용하

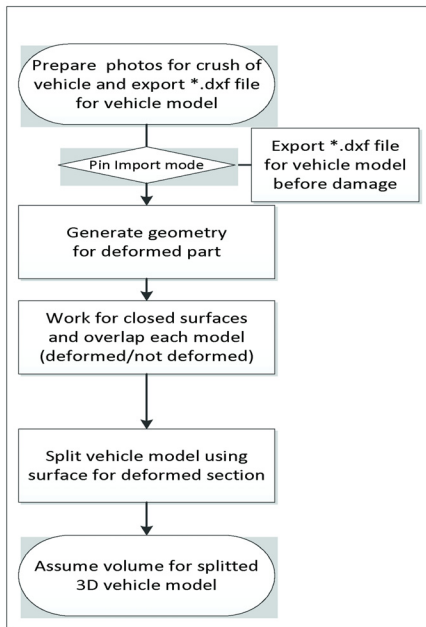
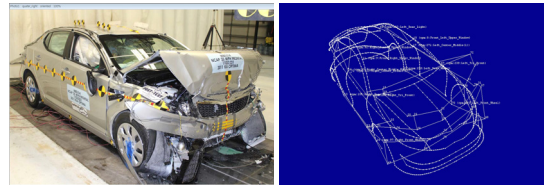
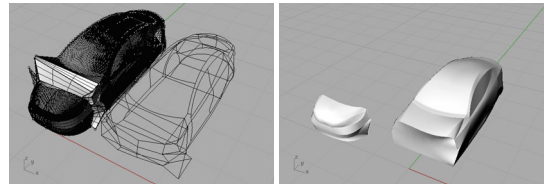


Fig. 6 3D crush modelling process with indirect photogrammetry

는 변형 후 차량 사진 목록은 1) 정면 2) 우측 전면 45도 3) 좌측면이다. Fig. 7(a)처럼, 포토모델러의 ‘Pin import mode’를 활용하여 변형 후 차량 사진에 변형 전 모델을 덮어씌운다. Pin import mode를 활용하면 변형 전 사진에서 생성한 점의 위치를 변형 후 사진에 일치시킬 수 있다. 세 장의 사진에 Pin import mode를 적용하고 변형 부분에 대한 지오메트리(Geometry)를 생성한다(Fig. 7(b)). 결국, 변형 전모델과 변형 부분의 형상의 결합으로 3차원 충돌 변형 모델을 구성하게 된다. 라이노에서 2차원 변형량 C_i 를 이용하여 분할한 경우와는 달리 포토모델러에서 사진을 이용하여 변형 형상 와이어프레임을 생성한다. 그리고 라이노에서는 변형체적을 추정하기 위한 닫힌 서페이스 작업만 행해진다. 간접사진측량을 통한 3차원 충돌 변형 모델은 2차원 변형량 C_i 를 단순 활용하는 경우보다 차량의 실제 3차원 변형에 월등히 유사하다. 이러한 간접사진측량 방법을 통해 변형체적을 추정하려는 경우에는 라이노에서 Fig. 8(a)와 같이 변형 전 모델과 변형 후 모델을 겹친다. 그리고 파손형상을 활용하여 분할로 Fig. 8(b)와 같이 나누고 변형체적을 추정한다. 간접사진측량을



(a) Overlapping the point data⁵⁾ (b) Generating 3D coordinate
Fig. 7 Overlapping point data and generating 3D coordinate using pin import mode with Photomodeler



(a) Overlapping each 3D model (b) Complete 3D crush model
Fig. 8 Completing 3D collision deformation model by dividing 3D vehicle model with Rhino

활용하여 K5(2011) 변형형상의 체적을 추정한 결과 0.55m^3 으로 앞서 2차원 변형량 C_i 를 활용하여 변형 체적을 추정한 결과인 0.44m^3 보다 크게 나왔다. 2차원 변형량을 활용한 경우처럼 수직으로 분할하는 것이 아니라 3차원인 면을 이용하여 분할하므로 변형 체적 추정치가 증가한 것으로 여겨진다.

4. 직접 사진 측량

직접사진측량을 하기 위해서는 충돌 파손된 차량을 대상으로 직접 촬영을 해야 한다. 촬영한 사진을 통해 3차원 충돌변형 모델을 구성하고 충돌정보를 얻어야 한다. 3차원 충돌 변형 모델을 구성하는 방법에는 포토모델러와 라이노를 활용하여 여러장의 사진으로부터 3차원 좌표 및 와이어프레임(wireframe)을 생성하는 방법이 있다. 또는 사진 기반의 3차원 스캐닝 기법을 활용한 프로그램을 사용한 방법이다. 본 연구에서는 사진 기반의 3차원 스캐닝 기법을 활용하기 위해 123D Catch⁶⁾ 프로그램을 활용하였다. 포토모델러를 활용하여 충돌변형사진으로부터 좌표를 얻기 위해 전, 후, 좌, 우 4방향과 각 45도 지점 4방향, 총 8방향에서 촬영했다. Fig. 9는 45도 지점을 촬영한 예이다. 123D Catch를 활용하여 충돌변형모델링 하기위해 차량 전체를 돌아가며 50여



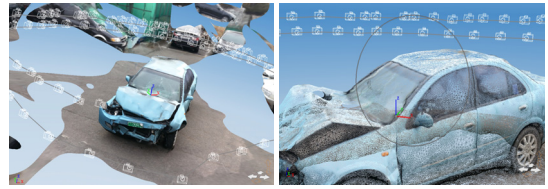
(a) Left front three-quarter view (b) Right front three-quarter view

Fig. 9 Photographs of crashed vehicle (SM3)

장을 촬영했다. 50장 이상 촬영하지 않아도 가능하지만 정밀한 모델링을 위해 많은 양의 사진으로 모델링 하였다. 두 방법 중 123D Catch를 활용한 변형 모델링이 실제와 더 유사하였다. 또한 충돌변형 모델 생성을 위한 작업도 123D Catch를 활용한 경우가 더 편리하다. 다만 123D Catch를 활용한 경우가 포토모델러와 라이노를 활용하는 방법보다 요구되는 사진 장수가 더 많았다. 또한 123D Catch를 사용하기 위해서는 연속적이고 다각도에서 차량 전체를 촬영한 여러장의 사진이 필요했다. 만약 2~3장의 사진밖에 없다면 완벽한 충돌변형모델을 생성할 수 없다. 그러나 이전에 생성한 파손 전 차량 모델링과 파손형상 사진 2~3장을 활용하여 포토모델러에서는 변형모델을 생성할 수 있다. 직접사진측량은 실제 사고현장에서 사진 및 영상을 촬영하고 2차원 데이터에서 3차원 정보를 얻는 측량법이므로 기본적인 사진측량에 대한 이해가 요구된다.

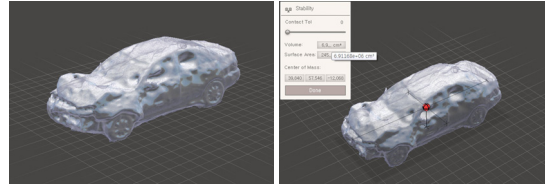
4.1 123D Catch

사진기반 3차원 스캐닝 기술을 활용하기 때문에 포토모델러를 활용하는 방법보다 더 많은 사진 장수가 필요하다. 사진기반 3차원 스캐닝 기술은 해당 물체의 연속적인 사진에서 각 픽셀(pixel)위치에 따른 매트릭스(matrix) 구성과 점 밀도에 따른 대응으로 3차원 모델을 구성하는 방식이다. 또한 카메라 투영 매트릭스(camera projection matrices)를 생성하므로 카메라 보정이 자동으로 해결된다. 본 연구에서는 일반에게 대부분 보급된 스마트폰 카메라로 대략 40~50장의 사진을 촬영하였다. 촬영한 사진을 123D Catch를 이용하여 프로세싱(processing)하면 e-mail이나 혹은 잠시 기다려서 3차원 모델을 얻을 수 있다. Fig. 10(a)는 123D Catch를 통해 얻은 3차원 모델이다. 사진의 품질이 높을수록, 빛을 피해



(a) Generating deformation model (b) Getting 3D mesh model

Fig. 10 3D model of crashed vehicle with 123D Catch



(a) Editing 3D deformation model (b) Calculating the volume

Fig. 11 Editing 3D deformation model and calculating the volume using Meshmixer

러 각도에서 정확한 촬영일수록 모델의 굴곡이나 빛으로 인한 구멍이 생성되지 않는다. 필요한 차량 모델만을 얻기 위해서 Fig. 10(b)와 같이 차량모델만을 선택하여 메시화할 수 있다. 차량모델의 3차원 솔리드형상을 얻기 위해 Meshmixer¹⁴⁾를 활용하였다. Meshmixer를 활용하여 차량모델을 다듬을 수 있으며 노이즈를 제거하여 조금 더 완벽한 3차원 충돌 변형모델을 얻을 수 있다(Fig. 11(a)). 또한, Fig. 11(b)와 같이 프로그램상에서 변형체적을 추정할 수도 있다. 변형모델의 체적은 간접사진측량에서 구한 것과 비슷하나, 123D Catch에서 구한 변형모델은 파손된 보닛(Bonnet)형상까지도 포함하므로 변형 체적이 다소 적게 계산된다. 이는 빛에 의한 모델 굴곡현상이 영향을 주는 것으로 여겨진다. 123D Catch는 사용이 간편하면서 쉽게 변형형상을 생성할 수 있지만 정교한 3차원 모델의 구성은 불가능하다. 또한 변형체적을 추정하기 위해서는 비교모델과의 부울 연산(Boolean operation)을 통해 변형형상만을 분할해야 하지만 이것 또한 용이하지 않다. 따라서 특정 파손부위에 대한 3차원 변형형상 추출은 상당히 어렵다.

4.2 Photomodeler와 CAD 프로그램

직접사진측량의 Photomodeler의 활용은 간접사진측량에서의 활용과는 다르다. 직접사진측량의 경

우 측정자가 직접 촬영하였기 때문에 카메라 보정이 항상 가능하게 된다. 따라서 간접사진측량보다 모델의 품질이 향상될 수 있다.

직접사진측량에서 포토모델러를 활용하여 3차원 충돌변형모델을 생성하기 위해서는 8장의 사진이 필요하다. 이보다 적은 4장의 사진으로도 모델링이 가능하다. 4장의 사진으로 모델링하는 경우는 앞, 뒤, 좌, 우 45도 방향에서 촬영한 경우이다. 하지만 4장의 사진으로는 포토모델러에서 연결점의 부족으로 올바른 충돌변형모델 생성이 어렵다. 따라서 파손부분을 간소화시켜 모델링해야 한다. 포토모델러는 각 사진에서 연결점의 위치를 통해 3차원 좌표를 생성한다. 파손부분에서 연결점 위치는 Fig. 12(a)와 같이 충돌로 접힌 끝부분을 선택한다. Fig. 12(b)는 파손부분 연결점 위치를 모두 결정하는 것이다. 이와 같이 포토모델러에서 연결점과 와이어프레임을 생성하여 충돌변형모델링을 수행하였다.

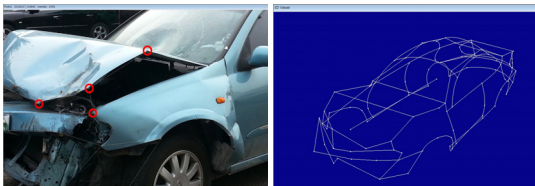
충돌변형모델의 체적을 추정하고 형상을 구체화하기 위해 CAD 프로그램으로 작업할 수 있다. CAD 프로그램으로는 포토모델러와 비교적 호환이 좋은 라이노를 활용하였다. 이미 생성된 3차원 좌표와 와이어프레임을 통해 Fig. 13과 같이 라이노에서 솔리

드 작업을 하였다. 솔리드 작업을 통해 충돌변형모델 형상을 구체화 하였다. 직접사진측량에서 포토모델러와 라이노를 활용하면 123D Catch보다는 시간이 좀 더 소모되지만 확실한 충돌변형형상을 구현할 수 있다. 만약 체적을 구하고자 한다면 전술한 간접사진측량 방법을 활용하여 직접 촬영한 사진에서 파손단면만 모델링하여 파손 전 모델에 적용 및 분할한다면 쉽게 구할 수 있다.

5. 결론

본 논문은 자동차 충돌사고 재구성성을 위하여, 사진측량을 통한 3차원 충돌변형 모델 구성 방안을 제시한다. 3차원 충돌변형 모델 구성의 목적으로 촬영하지 않은 적은 수의 기 촬영된 사진 및 동영상 자료를 활용하는 간접사진측량과 3차원 모델링 목적으로 직접 촬영한 많은 사진을 활용하는 직접사진측량의 두 가지 방법으로 수행되었다. NHTSA 충돌시험 데이터내의 2차원 변형량을 활용하여 3차원 변형모델을 생성하고 변형체적을 추정하는 것은 비교적 용이하나, 엄밀하게 사진측량은 아니다. 간접사진측량법은 충돌변형 후 차량 사진을 가지고 측량하는 방법으로 2차원 변형량과 같은 수치적 데이터가 무조건 요구되지 않는다. 그리고 측량을 위해서는 변형 전 차량 모델이 요구된다. 직접사진측량에는 촬영된 많은 사진을 활용할 수 있으므로 사진기반 3D 모델 스캐닝 프로그램인 123D Catch를 사용할 수 있다. 123D Catch를 활용하여 실제 3차원 스캐너를 활용한 경우와 비슷하게 3D 모델을 구성할 수 있었다.

본 연구에서 제시하는 사진측량 방법으로 구성한 3차원 충돌변형 모델은 자동차 충돌사고 재구성 해석에서 여러 부분으로 중요하게 활용할 수 있으며, 후속 연구중에 있다. 우선, 3차원 변형모델로부터 구한 충돌변형량(체적)과 형상을 가지고 충돌 속도와 방향의 추정이 가능하다. 그리고, 충돌 변형부가 정교하게 구성된 3차원 차량 모델들을 각각 이동하고 방향을 변환하여 접합해 보면서 실제 충돌 상황을 정확하게 구현할 수 있다. 또한, 사고 후 처리과정에서 인명 구조나 차체 운반 등으로 파손/분리된 차량 부품을 개별 측량 및 모델링으로 복원하여, 충돌 변형된 차량 모델과의 교합이 가능할 것이다.



(a) Selecting point position (b) Generating 3D model

Fig. 12 Generating 3D coordinate and deformation model with Photomodeler

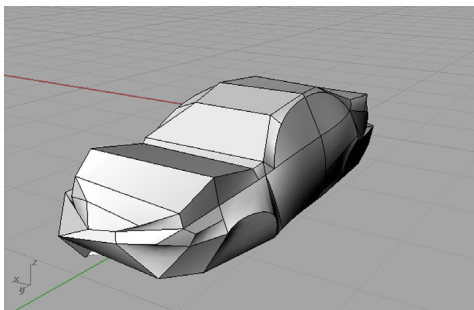


Fig. 13 3D collision deformation model with Rhino

후 기

본 연구는 국립과학수사연구원 과학수사 감정기법 연구개발사업(2014-교통-02)의 연구비를 지원받아 수행되었음.

References

- 1) I. Han, "Impact Analysis for Vehicle Accident Reconstruction," Transactions of KSAE, Vol.6, No.2, pp.178-190, 1998.
- 2) K. L. Campbell, "Energy Basis for Collision Severity," SAE 740565, 1974.
- 3) A. R. Várkonyi-Kóczy, A. Rövid and P. Várkonyi, "Intelligent 3D Car-body Deformation Modeling," IEEE 2nd International Conference on Systems (ICONS'07), 2007.
- 4) R. Rucoba, A. Duran, L. Carr and D. Erdeljac, "A Three-dimensional Crush Measurement Methodology Using Two-dimensional Photographs," SAE 2008-01-0163, 2008.
- 5) M. S. Erickson, J. J. Bauer and W. C. Hayes, "The Accuracy of Photo-based Three-dimensional Scanning for Collision Reconstruction Using 123D Catch," SAE 2013-01-0784, 2013.
- 6) Autodesk Inc., 123D Catch, <http://www.123dapp.com/catch>, 2014.
- 7) D. F. Tandy, C. Coleman, J. Colborn, T. Hoover and J. Bae, "Benefits and Methodology for Dimensioning a Vehicle Using a 3D Scanner for Accident Reconstruction Purposes," SAE 2012-01-0617, 2012.
- 8) W. D. Kim and K. S. Park, Photogrammetry and Practice, 1st Edn., Goomibook, Seoul, 2005.
- 9) T. S. Ryu, Estimation of Collision Speeds Based on 3-Dimensional Measurement of Vehicle Crush, Ph. D. Dissertation, University of Seoul, Seoul, 2011.
- 10) National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA, <http://www.nhtsa.gov>, 2014.
- 11) Insurance Institute for Highway Safety, IIHS, <http://www.iihs.org>, 2014.
- 12) EOS Systems Inc., Photomodeler 6 Manual, <http://www.photomodeler.com>, 2014.
- 13) McNeel North America, Rhinoceros, <http://www.rhino3d.com>, 2014.
- 14) Autodesk Inc., Meshmixer, <http://www.meshmixer.com>, 2014.