

교통사고에 대한 차량의 충돌 및 속도추정에 관한 연구 A study on the traffic accident with Cars Collision and Speed inference

백은기* · 이성태** · 김감래***
Baick eun-kee · Lee sung tae · Kim kam-lae

요 旨

本 研究는 근거리 寫眞測量技法과 컴퓨터 그래픽의 Simulation을 이용하여 交通事故發生에 精確한 사고원인을 分析하는 技法의 접근을 시도하였다. 또 사진자료의 분석과 車輛의 물리적인 特性 및 도로의 摩擦係數등을 고려하여 交通事故발생시의 事故再現 및 速度推定을 算出하였다.

ABSTRACT

This paper presents an approach for analysis of traffic accidents based on close-range Photogrammetry and Simulation of computer graphics.

By using the Photographic data anltsis, phisical characteristics and friction factors of load, we simulated the collision form and speeds at the time of accident.

1. 서 론

國民所得의 증대와 마이카의 여념으로 車輛의 급속한 증가에 맞추어 道路의 확충 및 정비가 되어야 함에 불구하고 시설이 미비해 짐에 따라 交通事故의 發生 및 사고의 형태도 대형화 되어가고 있고, 이로 인해 경제적, 시간적으로 큰 損失이 발생되어 국가 이익에도 역행되고 있다. 또 사고시 비과학적이고 비합리적인 처리방법으로 많은 문제가 발생되고 있다. 이에 지상사진측량분야를 交通事故처리에 이용함으로써 합리적이고 과학적인 처리를 하게 된것은 1930년대초 스위스의 쥐리히 경찰이 지상사진용 카메라(stereo camera)를 최초로 이용한 것을 시작으로 30년대 말까지 각 주 경찰, 시 경찰 등에 보급되었다. 이후 독일, 룩셈브르크, 이탈리아, 오스트리아, 프랑스 등 유럽지역에서 交通事故처리에 이용되어 오고 있으며, 일본에서도 1960년경 stereo camera를 도입·운용개시 하기 시작하여 1977년에 이르러 交通事故

처리의 67%를 처리하게 되었다.

우리나라에서의 交通事故處理는 1984년 stereocamera에 의해 관광버스와 승용차가 정면충돌한 지형을 촬영하여 법정에 참고자료로 제출한 것이 최초이고, 1987년 백은기, 김감래의 “교통사고 처리의 합리화에 관한 연구”와 1988년 인천직할시와 대구직할시가 Rollie camera를 이용하여 交通事故처리에 이용하였다. 또한 1989년 백은기, 김감래의 “사진측량에 의한 交通事故처리 및 활용방안에 관한 연구”, 1991년 신봉호 외 3인의 “삼차원 사진측량 시스템을 이용한 交通事故 해석에 관한 연구” 등 과학적인 交通事故처리시스템을 開發중에 있다.

본 연구에서는 사고발생에 따른 精確한 事故原因을 규명하기위해 지상사진측량용 카메라로 촬영하여 현장을 영구적으로 보존할 수 있게 되며, 이들 자료로부터 얻어진 충돌지점, 정지지점, 관계각지점의 좌표 및 충돌각도 등으로부터 사고현장을 재현하여 交通事故현장도를 작성함으로써 현장 재현성의 확보가 가능하도록 하며, 사고차량의 重量, 슬립흔, 활주흔(SKID MARK), 摩擦係數, 소성변형량, Simulation을

*서울시립대학교 교수
**건국대학교 교수
***명지대학교 교수

통한 차량의 舉動 등을 測定 및 計算하여 충돌속도, 충돌전·후의 속도, 충돌후 정지시까지의 차량조작시간, 에너지량, 충돌시 작용하는 힘의 크기, 깨어진 부위의 형태비교 등을 통해 정확하게 차량의 충돌에 의한 속도추정을 함으로서 交通事故處理를 할 수 있다.

2. 연구내용

2.1 교통사고

자동차가 衝突事故를 일으켰을 때에는 반드시 車輛의 파손은 필수적이다. 동일차량에 대한 충돌형태일 경우 衝突直前의 車輛速度가 크면 파손량도 크고 차량의 파손정도를 통해 차량의 충돌시의 속도가 推定된다. 또 각종자료 즉, 차량의 중량 스키드마크, stiffness, 충돌지점 및 최종정지지점 등을 이용하여 자동차가 충돌사고를 일으켰을 때 양차량이 어떠한 힘으로 이동하여 충돌하고 변화되어 정지하였으며, 운전자가 충돌후 어떠한 방법으로 차량을 조작하였는가를 밝히는 것이 사고재현 및 사고원인 분석에 필요한 사항을 얻는 것이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 제반사항을 얻기위해 역학적인 방법으로 필요한 사항을 계산한다.

2.2 자동차의 일차원 충돌역학

중량이 W_1, W_2 인 차량이 속도 $v_{01}, v_{02}(v_{01} > v_{02})$ 로 주행하여 충돌하였을 때 양차량의 速度에 대한 시간적 변화를 표시하면 그림 1과 같이 된다. 충돌중 양차량의 變形量 및 速度의 變化를 고찰하면 충돌과 함께 차량의 변형량은 증가하여 가고, 주행속도가 큰 차량(W_1)은 변형속도를 감소하기 시작한다. 한편 주행속도가 적은 차량(W_2)은 변형속도가 증가한다. 이 순간에 상호 운동량이 變換이 행하여진다. 그리고 양차량의 速度가 같게되면 다음 식 (1)과 같이 된다.

$$V_c = \frac{(W_1 v_{01} + W_2 v_{02})}{W_1 + W_2} \quad (1)$$

이다.

W_1, W_2 의 차량이 v_c 의 속도로 이동하여 강체벽을 부딪었다고 생각하면 W_1, W_2 의 차량은 각각 $[v_{01} - v_c (\equiv V_{01})], [v_c - v_{02} (\equiv V_{02})]$ 의 速度 v_c 로 강체벽에 衝突한 것으로 생각할 수 있으므로 W_2 가

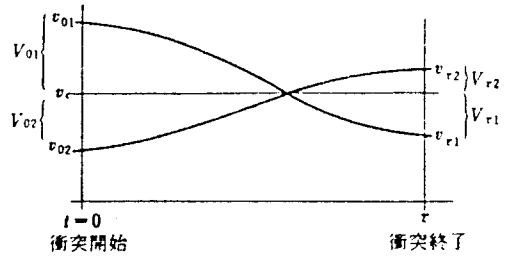


그림 1. 충돌중의 속도변화

(1) 고정벽인 경우는 $[v_{02} = 0, W_2 = \infty]$ 이고 $V_{01} = v_{01}, v_c = 0$

(2) 중량이 같은 차량에서 속도가 같고 방향이 반대인 경우는 $[v_{01} = -v_{02}, W_1 = W_2]$ 이고 $V_{01} = V_{02} = v_{01}, v_c = 0$ 이 되며, 이를 고정벽에의 衝突로 置換할 수 있다. 이것을 실효충돌속도라 하며, 다음 식 (2)와 같다.

$$V_{0i} = \frac{(v_{01} - v_{02})W_{i+1}}{W_1 + W_2} \quad (i=1,2) \quad (2)$$

2.2.1 정면충돌

자동차를 사용하여 衝突直前速度를 변화시킨 자동차 대 자동차 및 고정벽에의 정면충돌에 대해 실효충돌속도를 적용하여 정리하면 차체가 받는 최대가속도와 가속도의 持續時間(衝突時間)은 다음과 같다.

$$\text{최대가속도: } -x_{\max}(g) = 0.86V_0(\text{km/h})$$

$$\text{가속도유지시간: } \tau(\text{sec}) = 0.1 + 0.0001V_0(\text{km/h})$$

또 양차량이 衝突中 車輛變形이 최대로 된 후 변형의 일부가 탄성복원해서 충돌이 완료된다. 그결과 車體에는 塑性變形이 생기는데 이것으로부터衝突直後의 速度를 계산하면 다음 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} V_{r1} &= \sqrt{2\mu_1 g l_1 k_1} \\ V_{r2} &= \sqrt{2\mu_2 g l_2 k_2} \end{aligned} \quad (3)$$

2.2.2 직각충돌

直角衝突은 2차원충돌로 되는 것이 特徵이며 교차점으로 들어오는 車가 없을것으로 예측하여 교차점에 진입하던 차가 교차로의 진입차와 직각충돌할 경우 視通이 나쁘든가 신호가 없는 교차점에서 頻도가 크다.

直角衝突에서 衝突한 車는 어느 경우든지 충돌후 竝進運動과 回轉運動을 행한다. 回轉運動은 2차衝突후에도 때로는 3차충돌을 하게되고 衝突後의 運動은

복잡하게 된다.

1) 直角側面衝突의 衝突速度 推定

직각 충돌의 경우에는 피해차량의 衝突方向의 速度成分은 0이므로 충돌차량의 충돌시 속도가 有效衝突速度가 된다.

충돌속도와 변형량과의 관계를 역학적으로 분석한 결과로서 부서진 길이, 부서진 面積 및 體積으로부터 變形量을 산출하여 다음의 충돌속도에 대한 추정식을 얻을 수 있다.

(1) 양차주행시의 直角衝突에 대한 衝突速度(km/h) 부서진 전체 길이 L(m)에서의 推定式

$$V_1 = 30(\sqrt{10L+1} - 1) \quad (4)$$

부서진 전체 面積 A(m²)에서의 推定式

$$V_1 = 49.7(\sqrt{3.9A+1} - 1) \quad (5)$$

부서진 전체 體積 V(m³)에서의 推定式

$$V_1 = 16.9(\sqrt{40V+1} - 1) \quad (6)$$

(2) 정지차에의 直角衝突에 대한 衝突速度(km/h) 부서진 전체 길이 L(m)에서의 推定式

$$V_1 = 7.12(\sqrt{93.6L+1} + 1) \quad (7)$$

부서진 전체 面積 A(m²)에서의 推定式

$$V_1 = 10(\sqrt{75A+1} - 1) \quad (8)$$

부서진 전체 體積 V(m³)에서의 推定式

$$V_1 = 15(\sqrt{80V+1} - 1) \quad (9)$$

變形量과 피해차량의 衝突速度는

$$V_2 = 17.8(\sqrt{70.3X+1} - 1) \quad (10)$$

의 관계가 成立된다.

2.2.3 衝突에 의한 車體變形, 破壞에 要하는 에너지

정면충돌에서 고정벽에 대해 차체에 작용하는 하중과 소성변형량과의 관계는

$$F(\text{kg}) = 80000X_r(m) + 5710$$

이며, 차량의 단위폭(1m)에 대한 소성변형에 要하는 에너지는

$$E(\text{kg} \cdot \text{m}) = 26530X_r^2 + 3900X_r + 136$$

이다.

또 깨어진 부분의 단위길이(1m)에 대하여 차량에 작용한 하중과 소성변형량과의 관계를 구하면

$$F_{(A,C,D,E)}(\text{kg}) = 104167X(m) + 5208 \quad X(m) \leq 0.01 \\ = 6250$$

$$F_B(\text{kg}) = 104167X(m) + 5208 \quad X(m) \leq 0.07 \\ = 12500 \quad 0.07 \leq X(m) \leq 0.20$$

차량의 단위길이(1m)에 대하여 소성변형에 필요한 에너지는

$$E_{(A,C,D,E)}(\text{kg} \cdot \text{m}) = 52084X^2 + 5208X + 130 \quad X(m) \leq 0.01 \\ = 6250X + 125 \quad 0.01 \leq X \leq 0.20$$

$$E_B(\text{kg} \cdot \text{m}) = 52084X^2 + 5208X + 130 \quad X(m) \leq 0.07 \\ = 12500X - 125 \quad 0.07 \leq X \leq 0.20$$

2.2.4 추돌

追突車로부터 떨어진 피해차의 소모되는 에너지를 고려하여 충돌속도를 유도하면

$$V_c = \sqrt{\frac{2g(\mu_1 W_1 l_1 k_1 + \mu_2' W_2 l_2')}{W_1 + W_2}} \quad (11)$$

이고, 衝突時의 흡수에너지는

$$\Delta E = \frac{1}{2} \frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2} (1 - e^2)(v_1 - v_2) \quad (12)$$

이 된다.

e=0일 때 차체에 작용한 하중과 塑性變形량과의 관계는

$$F(\text{kg}) = 26100X(m) + 3270$$

이고, 차량의 단위폭(1m)에 따른 소성변형에 要하는 에너지는

$$E(\text{kg} \cdot \text{m}) = 8700X_r^2 + 2180X_r + 136$$

이다.

2.3 자동차의 2차원 충돌

二次元衝突이 一次元衝突과 다른 점은 충돌상대에게서 받은 충돌력의 합력이 차량중심을 통과하는 경우외에 車輛에 대해 回轉運動이 발생한다는 것이다.

2.3.1 비대칭정면충돌

2대의 차량이 정면충돌을 할때 양차량의 전후방향

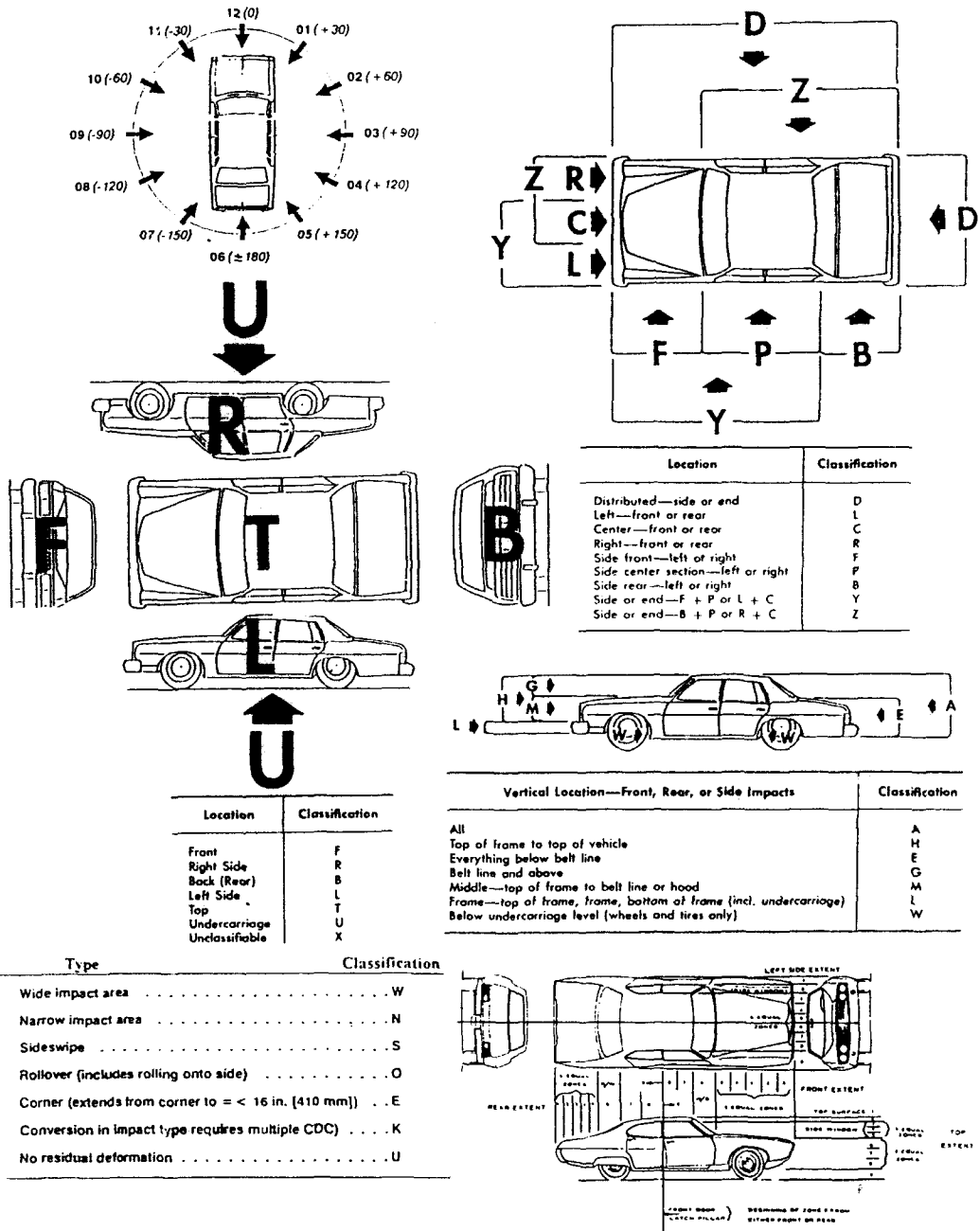


그림 2. 충돌부위에 따른 분류방법

의 축이 완전히 일치하지 않으므로 충돌힘은 차량에 대해 回轉運動을 일으킨다.

1) 평행하게 주행하는 경우

그림 3과 같이 양차량이 평행하게 주행하고 있을

경우 양차량의 전면은 중첩되므로 그 부분에 파괴가 생겨 貫入된다.

이때 차량에 변형이 없고 차량간에 摩擦이 없으면 回轉速度는 크게되나 양차량의 중심은 이동을 계속

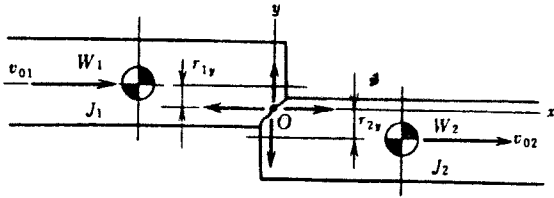


그림 3. 비대칭 정면충돌(평행주행)

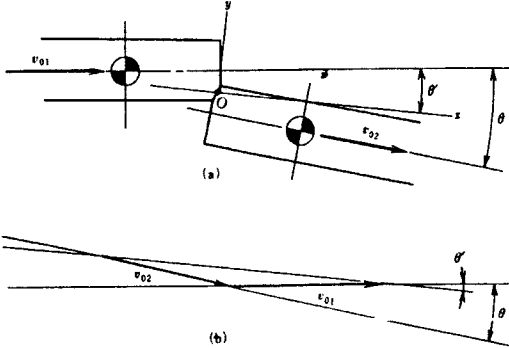


그림 4. 비대칭 정면충돌(교차주행)

한다. 2대의 충돌차량이 重量이 다르면 힘의 작용점 O가 y축방향으로 이동하나 일반적으로 극히 미소한 양이므로 생략된다.

車輛1과 車輛2의 衝突速度를 v_{01} , v_{02} 라 하고 衝突 중에 양차량의 동일속도가 될 때까지 이동후 回轉한다고 하면 차량의 중심에 대한 관성모멘트 J_1 , J_2 는

$$\begin{aligned} J_1' &= J_1 + (W_1/g)r_1^2 \\ J_2' &= J_2 + (W_2/g)r_2^2 \end{aligned} \quad (13)$$

이다.

2) 교차각도가 있는 경우

그림 4에 표시한 것과 같이 양차량이 平行이 아니고 각도가 θ 만큼 벗어나 走行중에 衝突한 경우의 相對速度는

$$|v_{01} - v_{02}| = \sqrt{v_{01}^2 + v_{02}^2 + 2v_{01}v_{02} \cos\theta} \quad (14)$$

가 된다.

2.3.2 2대의 차량에 대한 一般角度에서의 충돌

그림 5에 표시한 것과 같이 2대의 車輛이 각각 θ_A , θ_B 의 방향으로 주행하여 충돌한 경우를 고려해 보자. 두대의 차량에 대해 작용하는 충돌력은 作用·反

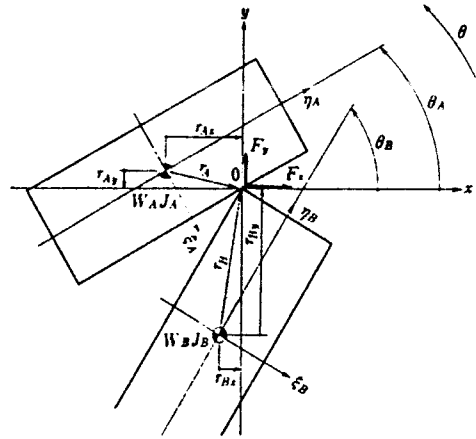


그림 5. 자동차의 2차원충돌(좌표계)

作用의 관계가 있고 양차량의 相對的位置關係에서 결정된다.

衝突終了까지의 역적은

$$\begin{aligned} P_x &= \int F_x dt = \frac{a_x V_{BAx} + kV_{BAy}}{a_x a_y - k^2} \\ P_y &= \int F_y dt = \frac{a_y V_{BAy} + kV_{BAx}}{a_x a_y - k^2} \end{aligned}$$

이고

$$\begin{aligned} V_{BAx} &= (x_{B0} - r_{By}\theta_{B0}) - (x_{A0} - r_{Ay}\theta_{A0}) \\ V_{BAy} &= (y_{B0} - r_{Bx}\theta_{B0}) - (y_{A0} - r_{Ax}\theta_{A0}) \end{aligned}$$

이다. 이것은 충돌접촉점에 있어서 A차에 대한 B차의 충돌개시시의 相對速度이며, 이때 衝突完了時의 차량 중심의 絶對速度(V_i)와 그의 方向(γ_i)는

$$V_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad \tan\gamma_i = y_i/x_i \quad (i=A,B)$$

이다.

2.3.3 충돌후의 차량의 거동

충돌후 양차량의 運動에는 타이어와 노면과의 마찰력이 크게 작용한다. 또 타이어가 고정상태인가 自由回轉狀態인가에 따라 摩擦力の 작용방향이 다르기 때문에 차량에 작용하는 가속도도 달라진다.

1) 타이어가 고정인 경우

차량의 가속도는

$$\begin{aligned} x &= -(\mu g/L)[L_r \cos\beta + L_f \cos\alpha] \\ x &= -(\mu g/L)[L_r \sin\beta + L_f \sin\alpha] \end{aligned}$$

$$\theta = -(\mu g/L)[\sin(\theta - \beta) + \sin(\theta - \alpha)]$$

이다.

2) 타이어가 자유회전인 경우

차량의 시각 $t_{j+1}(=t_j + \Delta t)$ 에 있어서 속도 및 위치는 시각 t_j 에 있어서 변위, 速度 및 加速度를 사용하여 다음과 같이 표시된다.

(1) 속도

$$x_{j+1} = x_j + x_j \Delta t, \quad y_{j+1} = y_j + y_j \Delta t, \quad \theta_{j+1} = \theta_j + \theta_j \Delta t$$

(2) 위치

$$x_{j+1} = x_j + x_j \Delta t + \frac{x_j (\Delta t)^2}{2}$$

$$y_{j+1} = y_j + y_j \Delta t + \frac{y_j (\Delta t)^2}{2}$$

$$\theta_{j+1} = \theta_j + \theta_j \Delta t + \frac{\theta_j (\Delta t)^2}{2}$$

3. 적용 및 분석

本 研究에서는 交通事故에 의한 차량의 충돌 및 속도추정에 의해 正面衝突, 追突事故, 直角衝突등 충돌형태에 따라 각각 分類하여 적용함으로써 사고처리에 필요한 衝突時 차량의 변화과정 및 속도 등을 추정하여 정확한 事故原因을 分析하고자 한다.

3.1 적용

일반적으로 交通事故에 의한 조사처리과정을 살펴 보면 경찰에서 조사한 사고경위 즉, 사고진술서, 스킵마크 길이, 路面의 摩擦係數 및 정지지점의 좌표 등을 토대로 판단·處理되고 있다. 이러한 판단·처리과정에서 많은 양의 衝突에 따른 부정확한 판단으로 인해 민사재판 또는 형사재판에 이의신청을 하게 된다. 따라서 사고경위를 위한 衝突 및 速度推定에 관해 정확히 결정함으로써 억울한 피해자를 없앨 수 있는 방안을 모색하고자 사고경위보고서 및 地上寫眞攝影方法에 의한 사고현장도를 기본자료로 하여 역학적인 관점에서 衝突後 정지시까지의 速度推定 및 속도변화과정을 추정하고, 車輛의 부서진 부위로부터 衝突時 가해진 힘의 방향과 크기, 에너지량을 산출한다. 또 이러한 결과값들이 실제 사고과정과 일치하는가를

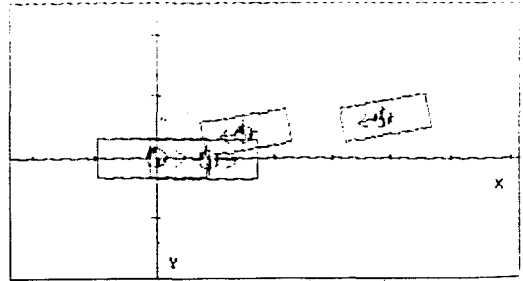


그림 6. 정면충돌사고 현장도

표 1. 정면충돌시 기본조건

	차량 1	차량 2
중 량(Kg)	1379.37	2199.910
강 도(Kg/m)	6355.59	2507.240
충 돌 각 도	171.00	0.000
노면의 마찰계수	0.87	0.870
충돌지점 X좌표(m)	4.785	0.000
충돌지점 Y좌표(m)	-1.219	0.000
핸들을 돌린방향	시계방향	시계방향

판단하기 위해 Simulation시킴으로서 사고경위를 정확히 파악한다.

3.1.1 정면충돌

그림 6과 같이 무게 및 強度가 서로다른 車輛이 衝突角度 171°의 차이를 가지고 비대칭 正面충돌을 한 事故現場圖를 이용하여 본다.

이때 경찰에서 調査한 사고경위를 기본으로 결정된 車輛의 衝突時 條件은 표 1과 같다.

모든 차량은 차종 및 衝突時 충돌된 차체부위에 따라 차체의 強度가 달라지므로 부서진 부위의 강도 결정을 위해 衝突部位形態를 그림 10과 같이 분류하여 결정하고, 또 노면의 摩擦係數, 車輛의 중량, 브레이크 자국에 의한 스킵마크 길이, 핸들을 돌린방향 및 부서진 부분에 대한 面積등 각종 條件에 따라 衝突後의 位置變化 및 速度變化가 생긴다.

이러한 제반사항을 이용하여 衝突時的 위치좌표에 따른 속도와 衝突後 분리될 때까지의 位置變化에 따른 속도변화량 등을 계산해 본 결과 표 2와 같다.

또 衝突時 부서진 면적만을 이용하여 양차량에 대한 속도변화량과 뉴-톤의 제3법칙인 作用·反作用의 法則에서 결정된 Delta-V를 결정해 본 결과 표 3이고, 정면충돌시 작용된 힘의 方向은 그림 7과 같다.

표 2. 정면충돌시 속도변화과정

	차량 1	차량 2
충돌 X좌표(m)	4.481	0.000
충돌 Y좌표(m)	-1.219	0.000
충돌각도	171.000	0.000
충돌속도(km/h)	24.500	28.500
충돌직후 X좌표(m)	4.481	0.000
충돌직후 Y좌표(m)	-1.219	0.000
충돌직후속도(km/h)	9.010	7.560

표 3. 부서진 부위에 따른 속도와 Delta-V

	차량 1	차량 2
속도(km/h)	33.63	21.08
Delta-V(X방향)(km/h)	-33.47	-20.92
Delta-V(Y방향)(km/h)	-2.57	1.61

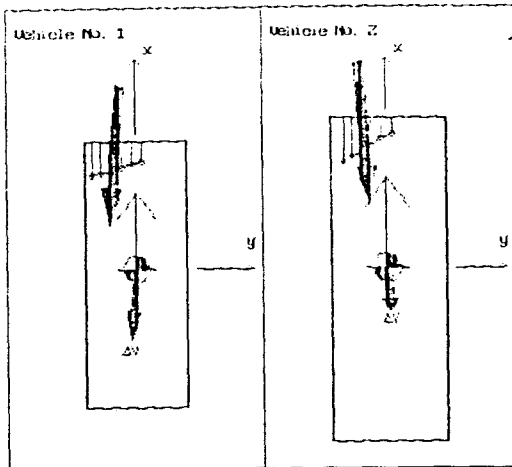


그림 7. 정면충돌시 작용된 힘의 방향

또 부서진부위로 부터 衝突時 양차량에 가해진 충돌힘은 차량1(15046.94 kg), 차량2(15394.39 kg)가 작용하였고, 이때 소비된 에너지량은 車輛1(4571.22 kg-m), 車輛2(6281.00 kg-m)가 소비되었다.

3.1.2 추돌사고

전체사고중 交通事故率의 30% 이상을 차지하고 있는 추돌사고에 대한 分析은 앞차량의 급정거에 의한 추돌사고나 추돌차량의 운전미숙에서 오는 사고가 거의 대부분을 차지하는데, 이때 추돌차는 브레이크를 밟기 시작한 후부터 衝突後 추돌차와 피해차량이 갖는

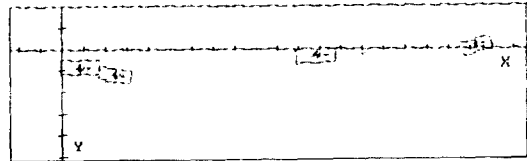


그림 8. 추돌사고에 의한 현장도

표 4. 추돌사고시 제원 및 조건

	차량 1	차량 2
중량(Kg)	2258.000	1424.270
강도(Kg/m)	6355.590	6973.470
충돌각도	0.000	10.000
노면의 마찰계수	0.870	0.870
충돌지점 X좌표(m)	2.590	7.530
충돌지점 Y좌표(m)	2.530	3.630
핸들을 돌린방향	시계방향	시계방향

표 5. 힘과 에너지에 의한 Delta-V

	차량 1	차량 2
에너지(kg-m)	637.199	1470.123
힘(kg)	6373.847	11144.026
Delta-V(X방향)(km/h)	-0.174	0.227
Delta-V(Y방향)(km/h)	0.000	-0.041
Total (km/h)	0.174	0.231

운동에너지로 부터 추돌차량에 대한 타이어의 路面과의 摩擦에 따라 追突形態 및 속도가 달라진다.

그림 8과 같이 追突事故에 의한 현장도를 이용하여 사고분석에 적용함으로써 추돌형태 및 속도를 分析하여 본다.

追突事故時 車輛의 제원 및 각 조건은 표 4와 같다.

추돌시 차체의 부서진 량에 따라 車體에 作用하는 힘과 에너지가 달라지므로 추돌시 부서진 부위의 위치좌표로 부터 뉴-턴의 3법칙인 作用·反作用의 法則을 적용하여 힘과 에너지를 계산한 결과 표 5와 같으며, 힘과 에너지에 의한 Delta-V는 표 5와 같다. 또 이를 도면화 하면 그림 9와 같다.

부서진 위치좌표로 부터 결정된 힘 또는 에너지를 가진 車輛1이 車輛2에 추돌할때 추돌속도 및 추돌후 분리될 때까지의 位置變化에 따른 速度變化量을 산출한 결과 표 6과 같다.

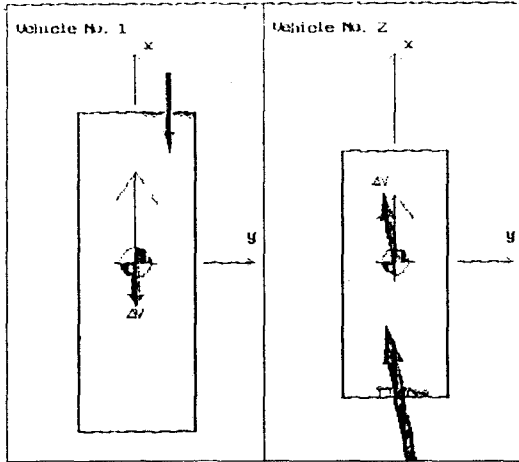


그림 9. 힘과 에너지에 의한 힘의 작용방향

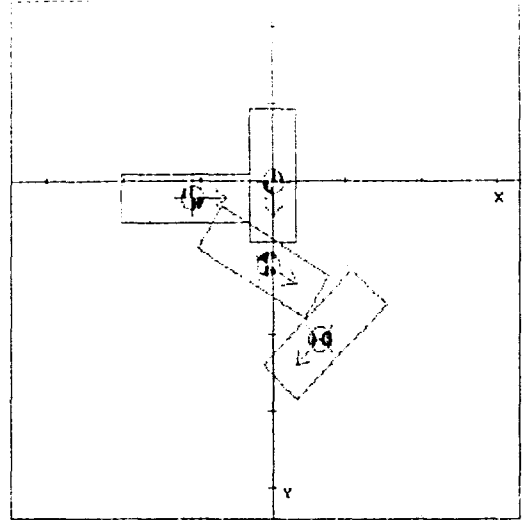


그림 10. 직각충돌에 따른 현장도

표 6. 위치변화에 따른 속도변화량

	차량 1	차량 2
충돌 X좌표(m)	2.591	7.529
충돌 Y좌표(m)	2.530	3.627
충돌 각도	0.000	10.000
충돌 속도(km/h)	32.991	14.162
충돌후 X좌표(m)	36.027	58.704
충돌후 Y좌표(m)	0.975	-0.244
충돌후 각도	-4.300	-16.000
충돌직후 속도(km/h)	23.818	29.289

표 7. 직각충돌시 기본조건

	차량 1	차량 2
중 량(Kg)	2031.630	2136.409
강 도(Kg/m)	2553.665	6410.950
충돌 각도	0.000	90.000
노면의 마찰계수	0.870	0.870
충돌지점 X좌표(m)	-3.383	0.000
충돌지점 Y좌표(m)	0.671	0.000
핸들을 돌린방향	시계방향	시계방향

3.1.3 직각충돌사고

直角衝突事故는 교차지역 및 비보호지역에서 진행하여 오는 차가 없을 것으로 예측하여 교차점에 진입하던 車輛2가 交叉路의 進入車輛1과 直角衝突하는 사고가 대부분이며, 피해정도는 진행속도가 낮고, 충돌부위의 車體強度가 낮은 차량이 큰피해를 입는다. 또 直角衝突事故는 충돌에 의해 차량이 중심을 잃고 회전을 일으키게 되므로 충돌형태가 복잡다양하게 형성된다. 따라서 直角衝突事故의 衝突에 따른 速度推定을 위해서 차량이 충돌후 발생된 회전량을 결정하고 衝突部位의 決定, 충돌후 최종정지지점, 충돌각도 및 충돌후 핸들을 돌린방향 등을 결정하기위해 현장보존의 확보가 필요하다. 현장보존에서 얻어진 정보를 기본으로 한 직각충돌에 따른 현장도는 그림 10과 같으며, 이때 양차량은 표 7과 같은 條件을 가진다.

표 8. 직각충돌시 위치좌표에 따른 속도변화

	차량 1	차량 2
충돌 X좌표(m)	-3.383	0.000
충돌 Y좌표(m)	0.671	0.000
충돌 각도	0.000	90.000
충돌속도(km/h)	32.025	38.301
충돌후 정지 X좌표(m)	-0.213	1.981
충돌후 정지 Y좌표(m)	3.292	6.248
충돌직후 속도(m/sec)	17.863	33.795

표 7에서의 조건하에 衝突된 事故車輛을 이용하여 충돌시의 위치좌표에 따른 速度變化를 계산한 결과 표 8과 같다.

또 직각충돌시 부서진 부위의 位置座標로부터 양 차량에 대한 직각충돌에 따른 速度變化量과 作用·反作用의 法則을 적용하여 힘, 에너지량 및 Delta-V는

표 9. 직각충돌에 따른 속도변화량과 Delta-V

	차량 1	차량 2
에너지(kg-m)	1548.386	9400.627
힘	15546.570	46601.202
Delta-V(X방향)(km/h)	-27.036	16.254
Delta-V(Y방향)(km/h)	17.059	-25.588
Total (km/h)	31.864	30.416

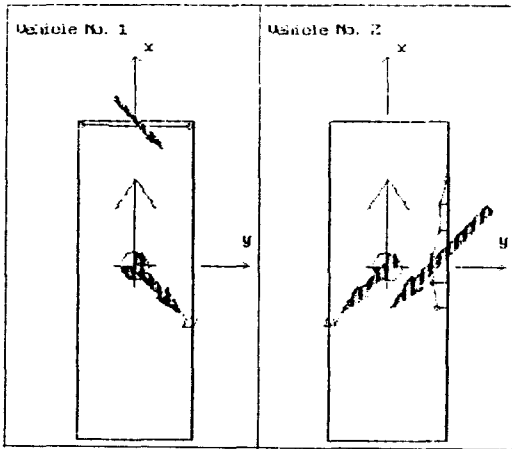


그림 11. 직각충돌시 힘의 작용방향

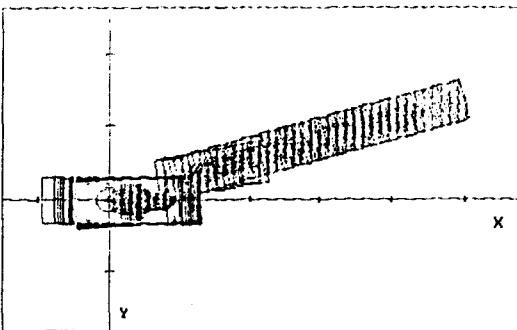


그림 12. Simulation을 한 정면충돌 현황도

표 9와 같고, 직각충돌시 힘의 작용방향을 도면화하면 그림 11과 같다.

3.2 분석

3.2.1 정면충돌

3.1.1에서 계산된 속도변화와 위치변화를 이용하여 Simulation시킴으로서 정확한 사고경위를 분석하여 본 결과 初期速度가 車輛1(21.243 Km/h), 車輛2(23.

표 10. 정면충돌에 따른 위치변화와 속도변화

시간	X#1 (m)	Y#1 (m)	PSI#1 (도)	U-vel#1 (km/h)	V-vel#1 (km/h)	PSI-DOT #1(도)
0.000	4.481	1.219	171.00	21.243	1.372	0.00
0.100	4.148	1.177	169.42	3.160	0.790	-36.43
0.240	4.496	1.320	165.88	10.128	0.066	-13.43
0.340	4.764	1.399	165.22	9.985	0.000	-1.94
0.440	5.032	1.472	165.15	9.843	0.000	-0.15
0.540	5.294	1.539	165.15	9.700	0.000	-0.01
0.640	5.550	1.609	165.15	9.557	0.000	-0.00
0.740	5.806	1.676	165.15	9.404	0.000	-0.00
0.840	6.056	1.743	165.15	9.261	0.000	-0.00
0.940	6.303	1.807	165.15	9.118	0.000	-0.00
1.040	6.547	1.871	165.15	8.965	0.000	-0.00
1.140	6.785	1.935	165.15	8.822	0.000	-0.00
1.240	7.019	1.999	165.15	8.680	0.000	0.00
0.340	7.251	2.060	165.15	8.526	0.000	-0.00
1.440	7.477	2.118	165.15	8.383	0.000	-0.00
1.540	7.702	2.179	165.15	8.241	0.000	-0.00
1.730	8.114	2.289	165.15	7.955	0.000	-0.00
1.830	8.327	2.344	165.15	7.813	0.000	-0.00
1.930	8.534	2.399	165.15	7.670	0.000	0.00
2.030	8.739	2.454	165.15	7.516	0.000	0.00
2.130	8.937	2.505	165.15	7.374	0.000	-0.00
2.230	9.135	2.557	165.15	7.220	0.000	0.00
2.330	9.327	2.612	165.15	7.078	0.000	0.00
2.430	9.513	2.661	165.15	6.935	0.000	-0.00
2.530	9.699	2.710	165.15	6.781	0.000	0.00
2.630	9.879	2.755	165.15	6.639	0.000	0.00
2.730	10.055	2.804	165.15	6.485	0.000	0.00
2.830	10.226	2.850	165.15	6.342	0.000	-0.00
2.930	10.394	2.893	165.15	6.200	0.000	-0.00
3.030	10.588	2.935	165.15	6.046	0.000	0.00
3.130	10.720	2.978	165.15	5.903	0.000	0.00
3.230	10.875	3.021	165.15	5.750	0.000	0.00
3.330	11.028	3.060	165.15	5.607	0.000	0.00
3.430	11.177	3.100	165.15	5.454	0.000	0.00
3.530	11.323	3.139	165.15	5.311	0.000	-0.00
3.630	11.464	3.176	165.15	5.157	0.000	-0.00
3.730	11.598	3.213	165.15	5.015	0.000	-0.00
3.830	11.726	3.246	165.15	4.861	0.000	-0.00
3.930	11.860	3.283	165.15	4.718	0.000	0.00
4.030	11.985	3.316	165.15	4.565	0.000	0.00
4.130	12.107	3.347	165.15	4.422	0.000	0.00
4.230	12.222	3.377	165.15	4.268	0.000	0.00
4.330	12.335	3.408	165.15	4.126	0.000	0.00
4.430	12.445	3.438	165.15	3.972	0.011	-0.00
4.530	12.549	3.466	165.15	3.830	0.101	-0.00
4.630	12.649	3.496	165.15	3.676	0.088	-0.00
4.730	12.744	3.523	165.15	3.533	0.077	-0.00
4.830	12.838	3.548	165.15	3.380	0.066	-0.00
4.930	12.927	3.575	165.15	3.237	0.055	-0.00
4.980	12.969	3.587	165.15	0.000	0.000	0.00

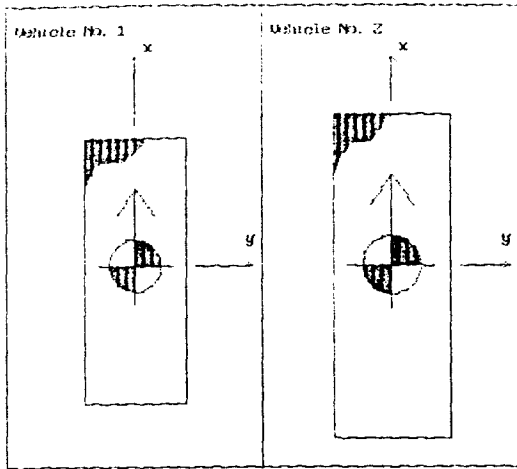


그림 13. 부서진 부위에 대한 현황도

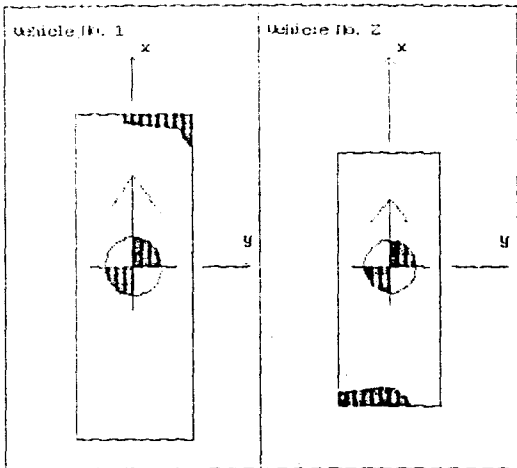


그림 14. 추돌사고 현황도

657 Km/h)인 비대칭충돌사고인 경우에 대해 정확한 事故 경과과정을 그림 12와 같이 再現하고, 양차량이 충돌하여 정지시까지의 위치좌표를 표 10과 같이 얻을 수 있었다.

또 車輛이 衝突後 정지시까지의 과정을 分析한 결과 차량의 충돌에 따른 차체의 부서진 부위의 면적 그림 13에 따른 衝突時의 速度變化量 ΔV 는 車輛1(19.6 km/h), 車輛2(12.2 km/h)이다. 따라서 이 正面衝突한 事故에는 차량이 정면충돌시에 따른 사고 경위서 및 진술의 내용과 Simulation을 시켜서 나타낸 결과와 비교해 볼 때 많은 차이가 있었음을 알 수 있다.

표 11. 추돌시 위치변화와 속도변화

시간	X#1 (m)	Y#1 (m)	PSI#1 (도)	U-vel#1 (km/h)	V-vel#1 (km/h)	PSI-DOT #1(도)
0.000	2.490	2.539	0.00	34.169	0.000	0.00
0.640	6.032	2.472	-0.09	17.491	-0.066	-0.73
1.140	8.412	2.454	-0.45	16.777	-0.055	-0.70
1.920	11.924	2.396	-0.98	15.658	-0.055	-0.66
2.420	14.048	2.347	-1.30	14.945	-0.055	-0.63
2.920	16.075	2.289	-1.60	14.232	-0.055	-0.60
3.420	18.001	2.222	-1.89	13.518	-0.055	-0.57
3.920	19.827	2.152	-2.17	12.805	-0.044	-0.54
4.420	21.555	2.076	-2.43	12.092	-0.044	-0.51
4.920	28.183	1.996	-2.67	11.379	-0.044	-0.48
5.420	24.710	1.914	-2.90	10.655	-0.044	-0.45
5.920	26.140	1.834	-3.12	9.941	-0.044	-0.42
6.420	27.469	1.756	-3.32	9.228	-0.033	0.39
6.920	28.697	1.676	-3.50	8.515	-0.033	-0.36
7.420	29.828	1.600	-3.68	7.802	-0.033	-0.33
7.920	30.861	1.530	-3.83	7.088	-0.033	-0.30
8.420	31.791	1.463	-3.97	6.375	-0.022	-0.27
8.920	32.626	1.399	-4.10	5.662	-0.022	-0.24
9.420	33.360	1.344	-4.21	4.949	-0.022	0.21
9.920	33.994	1.292	-4.31	4.224	-0.022	0.18
10.42	34.531	1.250	-4.39	3.511	-0.011	-0.15
10.92	34.967	1.213	-4.45	0.000	0.000	0.00
11.42	35.305	1.186	-4.50	0.000	0.000	0.00
11.92	35.546	1.161	-4.54	0.000	0.000	-0.00
12.42	35.686	1.143	-4.56	0.000	0.000	0.00
12.92	35.729	1.137	-4.58	0.000	0.000	0.00
13.39	35.729	1.131	-4.60	0.000	0.000	0.00

3.2.2 추돌사고

3.1.2절에서 결정된 衝突時의 速度와 衝突後의 位置變化에 따른 速度變化량을 이용하여Simulation시킴으로서 사고경위를 재분석한 결과그림 14와 같이 追突하였음을 알 수 있다.

그림 14에서와 같이 양차량이 追突事故後 정지시까지의 과정을 시간에 따라 변화되는 追突位置와 速度變化는 표 11과 같다.

이를통해 車輛이 追突에 따른 부서진 부위의 면적 그림 15에 따른 追突시 작용된 速度變化量 ΔV 는 車輛1(10.0 km/h), 車輛2(15.9 km/h)이다.

3.2.3 직각충돌사고

3.1.3절에서 얻어진 位置變化에 따른 速度變化량을

표 12. 직각충돌시의 시간변화에 따른 위치좌표와 속도 변화

시간 (sec)	X#1 (m)	Y#1 (m)	PSI#1 (도)	U-vel#1 (km/h)	V-vel#1 (km/h)	PSL-DOT #1(도)
0.000	-3.383	0.671	0.00	35.003	0.000	0.00
0.110	-2.661	0.847	8.21	12.926	7.381	110.87
0.220	-2.310	1.128	19.30	13.639	4.685	88.07
0.320	-1.999	1.369	26.92	13.661	2.524	64.40
0.420	-1.695	1.594	32.18	13.321	0.944	40.64
0.520	-1.399	1.807	35.07	12.849	-0.022	17.66
0.620	-1.112	2.009	36.01	12.344	-0.154	3.38
0.720	-0.841	2.204	36.17	11.851	0.055	1.14
0.820	-0.581	2.399	36.32	11.346	0.198	2.06
0.920	-0.341	2.588	36.69	10.720	0.461	5.76
1.040	-0.091	2.804	37.67	8.668	1.372	15.89
1.150	0.076	2.981	39.11	7.483	0.636	8.16
1.250	0.219	3.118	39.79	6.452	0.538	6.14
1.350	0.341	3.240	40.30	5.892	0.461	4.95
1.450	0.451	3.350	40.84	5.278	0.501	5.53
1.550	0.539	3.450	41.54	3.950	0.735	8.56
1.650	0.600	3.527	42.27	2.941	0.625	7.70
1.750	0.640	3.581	42.86	0.000	0.000	0.00
1.850	0.671	3.618	43.13	0.000	0.000	0.00
1.950	0.679	3.630	43.27	0.000	0.000	0.00
1.980	0.679	3.630	43.31	0.000	0.000	0.00

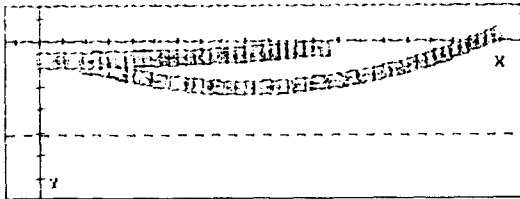


그림 15. 충돌에 따른 부서진 부위의 형태

기본자료로 하여 직각충돌사고에 대해 Simulation을 실시하여 산출된 충돌후 정지시까지의 과정에 대한 위치좌표와 속도변화는 표 12와 같으며, 이에 따른 현장도는 그림 16과 같다.

이때 Simulation시켜 산출된 직각충돌시 속도변화량 Delta-V는 車輛1(26.392 km/h), 차량2(22.852 km/h)이고 直角衝突時 부서진 부위에 대한 형태는 그림 17과 같다.

이상과 같이 交通事故事件에 대해 사고 경위서에 진술한 피의자와 피해자들의 사고내용을 이용하여

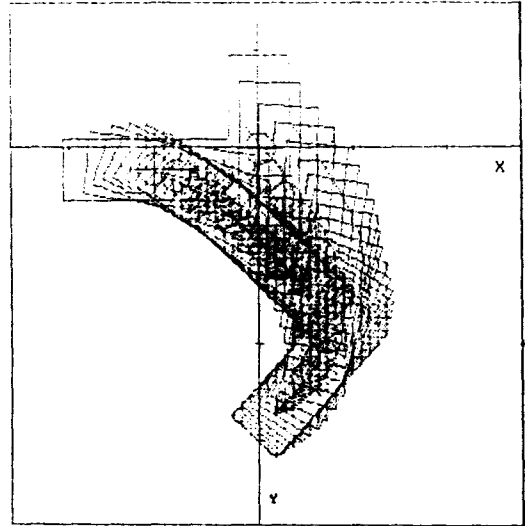


그림 16. Simulation을 실시한 직각충돌사고

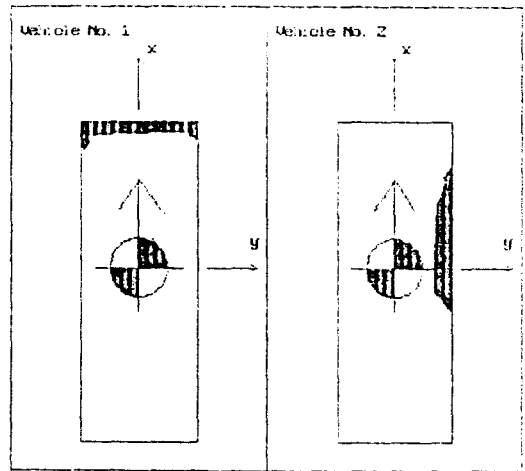


그림 17. 직각충돌시 부서진부위에 대한 현황도

사고경위과정을 Simulation함으로써 올바른 사고경위를 축출하여 事故事件의 판단에 대해 정확히 제시한다.

4. 결 론

交通事故에 대해 충돌형태별로 분류하여 각각의 衝突 및 速度推定을 함으로써 車輛의 舉動狀態를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 車輛의 충돌부위의 強度 및 부서진 부위의 크

기에 따라 車輛의 충돌형태가 달라짐을 알 수 있었다.

2) 衝突事故에 대한 分析에서 가장 중요한 衝突速度, 차량에 작용한 힘 및 에너지량을 算出할 수 있었다.

3) 각 충돌형태에 대해 Simulation시킴으로서 速度變化量 Delta-V를 算出할 수 있었다.

4) 충돌사고형태별로 分類하여 Simulation을 실시한 結果 衝突時의 車輛의 舉動狀態를 파악할 수 있다.

5) 衝突時 진술내용과 Simulation시켜 결정된 값을 비교분석함으로써 사고진위를 정확히 파악할 수 있었다.

이상과 같은 결론의 결과로서 事故車輛에 대한 衝突 및 速度推定을 부분별로 따라 計算할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 1991년도 교육부지원 한국 학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 백은기, 김감래, “寫眞測量에 의한 交通事故 分析處理 및 活用方案에 관한 研究”, 한국측지학회지, 제7권, 제1호, 1989, pp.27-35.
2. 백은기, 김감래, “交通事故處理의 합리화에 관한 研究”, 한국측지학회지, 제6권, 제1호, 1988, pp.48-58.
3. 치안본부, 도로교통안전협회, “寫眞測定에 의한 交通事故 處理 세미나”, 1985, pp.1-38.
4. 서울특별시 경찰국, “交通事故 調査要領”, pp.39-41.
5. Scherz, P.J., “Potential Use of 35mm Cameras and the 35/70 analytical Stereoplotter for Mapping Accident scenes, Corime scenes, and other Subjects”, Close-Range Photogrammetric and Surveying: State-of-The Art, 1986.
6. The traffic institute, Northwestern University, “Traffic Accident investigator’s manual for polices Second Edition”, 1983.
7. California Division of Highways, “Dynamic Testsof Wood Post and Timber Pole Sign Supports”, Research Report No. M & R 636-398, December. 1967
8. Cornell Aeronautical Laboratory, Basic Research in Automobile Crash-worthiness, Final Report, by P. Miller and R.P. Mayor, Rep. No. YB-2584-V-6, Buffalo, N.Y., Oct., 1969.
9. Salley, J.R., “A Useful Tool in Traffic Accident Investgation”, Photogrammetry Engineering, Vol.30, No.4, 1964, pp.568-573.
10. Wolf P.R., and Janssen, W.J., “Survey of Traffic Accident”, American congress on surveying and mapping techical papers, Full Technical Meeting ASCM-ASP, San Francisco, Calif., 1981, pp.198-208.
11. J.H. Mathewson, et al., “Barrier Collisions-Series III”, Paper 211D presented at SAE West Coast Meeting, Aug,1960, pp.16-19.
12. 大前晴雄他, “側面衝突時의 車輛의 舉動解析-自動車研究”, Vol.1, No.10, 1979-10.
13. 佐藤武他, “自動車의 衝突의 力學”, 自動車技術, Vol 21, No.9, 1967-9.
14. 林洋, 上山勝, 大慈, 彌雅弘, “自動車事故鑑定의 方法”, 技術書院, 1987, pp.19-88.
15. 佐藤武, “自動車交通事故とその 調査”, 交通工學研究會, 1988, pp.51-92, pp.125-136.
16. 江守一郎, “自動車事故工學”, 技術書院, 1985, pp.93-108.
17. 江守一郎, “自動車事故工學-事故再現가手法-”, 技術書院, 1987, pp.28-40.
18. “れかりせすい ステレオカメラによる 交通事故事件의 調査處理”, 警察廳交通指導課, 1980, pp.44-56.
19. 漁容增監, “交通事故處理의 的について”, 警察學論集, 1982.
20. 大島太市, “寫眞測量による 交通事故處理方法とその 問題點”, 東京大學生産研究, 1982, pp.20-36.
21. 大島太市, “近距離寫眞測量의 交通事故現場記錄への 利用”, 測量 15券 1號, 1965, pp.17-23.