

# 시뮬레이션을 이용한 충돌 전후 차량 진행궤적 분석

한창평

상지대학교 스마트자동차공학과

## Analysis of vehicle progress before and after a collision using simulation

Chang-Pyoung Han

Department of Smart Automobile Engineering, Sangji University

**요약** 기계 설계를 기반으로 제작한 자동차에 의한 사고 발생 시 차량 공학적인 분석은 심도 있게 조사하지 않고 조사자의 주관적인 경험 지식을 토대로 분석하는 경우가 있다. 본 연구는 실제 발생한 중앙선 침범 사고 자료를 토대로 캐드(CAD) 프로그램을 이용하여 현장 상황을 도면화하고, 도면화 한 자료를 시뮬레이션 프로그램(PC-Crash)에 적용하여 250번의 충돌 상황을 반복적으로 수행하여 최종 정지 위치 및 최종 정지 자세와 부합하는 충돌 속도, 진행 자세, 조향 작동 여부 및 제동 여부 등의 상관 관계를 분석했다. 충돌 속도가 낮을수록 이탈각의 영향을 크게 받지 않고 속도가 높은 차량의 속도에 영향을 크게 받고 충돌 이후에는 유효 충돌 속도와 같이 속도가 낮은 차량은 높아지고, 속도가 높은 차량은 낮아진다. 본 연구의 시뮬레이션 결과는 마이티가 중앙선을 넘은 자세로 오르막 좌커브 구간을 진행하다가 마주 오던 포터를 인지하고 자기 진행 차로로 복귀하는 과정과 포터의 전면 좌측면이 충돌하여 포터가 우대각선 방향으로 밀려나 전면이 약 11시 방향을 향해 최종 정지하는 것을 규명하였다.

**Abstract** Vehicle engineering analysis in the event of an accident caused by a car built on mechanical design has not been investigated in-depth but relies on the subjective experience knowledge of the investigator. This study analyzed the correlation between the speed, progress, steering, and braking before impact, which is consistent with the final stop position, by drawing a site situation chart using the CAD (CAD) program and repeating 250 crashes using the PC-Crash program. The following situations were investigated: lower impact velocity; greater impact speed of the vehicle, which is not affected significantly by the departure angle; higher vehicle speed, such as the effective impact velocity, after the impact; higher vehicle speed; and lower vehicle speed. (Ed note: I am unsure what you are saying here. It appears contradictory and not a complete sentence. Please check the changes.)The simulation results of this study identified the process of returning to the magnetic progression lane after recognizing the opposite porter while Mighty was carried out on the uphill left-curve section in a position that crossed the center line, and the collision of the porter's front left side, pushing the porter in the right diagonal direction and making the front stop towards approximately 11 o'clock.

**Keywords** : Vehicle, Investigated, Vehicle Engineering, PC-Crash program, Cad Program, Collision

---

\*Corresponding Author : Chang-Pyoung Han(Sangji Univ.)

email: hancp@daum.net

Received October 19, 2020

Accepted January 8, 2021

Revised January 5, 2021

Published January 31, 2021

## 1. 서론

단독 교통사고 이외의 통상적인 교통사고는 원인 제공자가 존재하며 운전자가 사망하면 원인 규명에 차질이 발생할 수 있고 이의 제기를 하지 못해 난관에 처할 수 있다. 본 연구는 커브 구간에서 발생한 중앙선 침범사고에 대해 노면 흔적 분석, 사고 차량의 파손부 위 정밀 분석, 도로 선형 및 특성 분석을 토대로 시뮬레이션을 이용하여 충돌각, 사고 당시 속도, 조향각 등을 분석하여 사고 원인을 분석하는 과정을 제시하고자 한다.

PC-CRASH는 교통사고 분야에서 사고 재구성에 사용하는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램이다. Newton 역학을 기반으로 충돌 전 속도 및 충돌 자세 등과 같은 다양한 변수들을 고려하여 차량의 충돌 후 거동을 모사할 수 있고 사고에 대한 해석 및 3차원 사고 재구성을 할 수 있다[1~7].

## 2. 본론

### 2.1 발생 개요

Fig. 1에서 보는 바와 같이 1톤 포터와 2.5톤 마이티가 편도 1차로인 도로를 교행하던 중 발생한 사고이다. 우커브 구간을 진행하던 포터와 오르막 좌커브 구간을 진행하던 마이티의 전면 좌측 부위가 충돌하여 각각 자기 진행 차로에 최종 정지하였고 포터 운전자가 사망하였다.



Fig. 1. Porter alignment is right-curve, and Mighty is left-curve

### 2.2 양 차량의 최종 정지 자세

Fig. 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 마이티와 포터는 각각 자기 진행 차로에 최종 정지하였다. 마이티는 중앙선에 근접하여 최종 정지하였고 포터는 전면이 약 11시

30분 방향을 향하고 전륜이 중앙선으로부터 약 0.4 m 떨어져 있다.

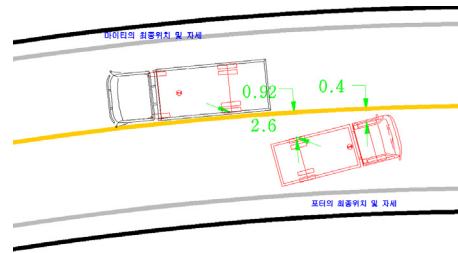


Fig. 2. Final position diagram of both vehicles

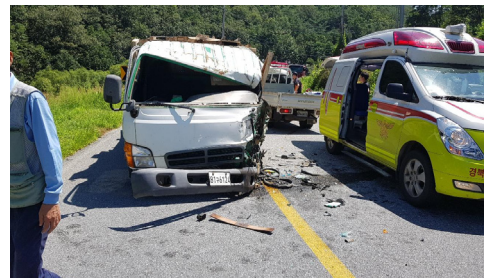


Fig. 3. Scattering identified in the left front wheel area of Porter

### 2.3 노면 흔적 등

Fig. 2~Fig. 6에서 보는 바와 같이 오르막 좌커브 구간을 진행하는 마이티의 전면 좌측 부위와 우커브 구간을 진행하던 포터의 전면 좌측 부위가 충돌하는 과정에서 마이티의 조향 기어 박스의 섹터 축이 부러져 피트면 암에 연결된 드래그 링크와 드래그 링크에 연결된 앞차축 좌전륜 너클을 포함한 앞차축이 뒤로 밀려 앞차축을 앞쪽 좌우 판스프링에 결합시킨 유(U)볼트가 뒤로 밀리면서 판 스프링 일부 및 앞차축이 분리되어 이탈되었다.

마이티의 진행 차로에 발생한 노면 파인 흔적은 충돌 이후에 발생되었다. 마이티는 최대 충돌 결합 시 앞차축이 틀어지면서 발생시킨 좌전륜 흔적이 중앙선상에 위치하고 우전륜 흔적의 안쪽은 중앙선으로부터 약 1.55 m 떨어져 있다. 마이티의 좌후륜 최종 위치에서 중앙선상에 발생된 파인 흔적은 약 0.12m이다. 최종 위치한 마이티의 좌후륜 위치로부터 후방 중앙선상에서 파인 흔적까지 거리는 약 0.7m이고 포터의 좌전륜 부위가 파손되어 주저앉은 부위가 없는 반면, 마이티의 주저앉은 좌전륜 흔적이 있다. 차량이 커브 구간을 주행 시 곡선 반경이 작

으면, 핸들 조작이 곤란하고, 도로 이탈 가능성이 있고 주행 도로에서 사고 위험이 크므로 곡선부를 주행하는 차량에 가해지는 원심력과 타이어의 노면 마찰에 균형을 갖도록 설계 속도에 따라 곡선 반경의 최소값을 규정하고 있다. 곡선 반경은 선회 한계 속도를 산출 시 필요하고 노면 흔적은 충돌 전후의 차량 진행 궤적 분석에 매우 중요한 요소이다.



Fig. 4. Actual measurement of curved radius of roadway



Fig. 5. The distance from the position of the left and rear wheels of the final location Mighty



Fig. 6. The distance between the left and right wheels of Mighty final stop and Porter's left and right wheels is about 2.6 meters

## 2.4 마이티 및 포터의 손상부위

Fig. 2~Fig. 7에서 보는 바와 같이 마이티의 주 손상 부위는 전면 좌측 부위이고 좌측 앞쪽에 위치한 조향 기어 박스 내 섹터 축이 부러져 여기에 순차적으로 연결된 피트면 암, 드래드 링크, 너클, 앞차축이 뒤로 밀리는 과정에서 앞차축을 판스프링 중앙에 유(U)볼트로 체결하여 놓았는데 앞차축이 뒤로 밀리는 과정에서 유볼트가 손상되어 판스프링 일부가 이탈하였고 앞차축도 앞 판스프링에서 분리되어 이탈되었다. 조향 핸들 좌측에 헤드라이트 스위치 작동 위치가 전조등을 켜 위치에 있고, 앞차축이 밀리면서 엔진 오일 팬 밑면과 하체 일부에 접촉한 흔적을 발생되었다.

포터의 우측면은 Fig. 8과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 직접 손상 흔적이 없고, 포터의 좌우측 타이어는 손상되지 않았다. 직접 충돌로 인해 운전석 좌측 부위 캐빈만 뒤로 밀렸고 프레임 좌측 선단 부위에 접촉한 흔적이 식별되고 크로스 멤버(원통형 파이프)가 절단되었으며 좌전륜 안쪽 하체 부위에 아무런 손상 흔적이 없으므로 노면과 접촉한 흔적이 없다.



Fig. 7. Mighty left front folded and dislocated front axle and tire deflated left front wheel



Fig. 8. There is no direct damage to the front or right front of the potter





Fig. 9. Part of the cabin was cut for driver rescue

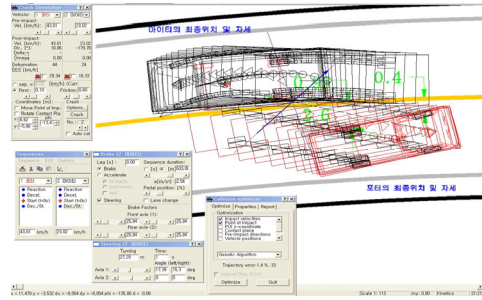


Fig. 11. Move to Final Position After Collision (2D)

### 3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 프로그램에서는 양 차량의 최대 충돌 결합 후 최종 정지 위치로 진행되는 거동에서 포터 및 마이티의 최대 충돌 결합 후의 속도는 각각 43.01 km/h, 23.02 km/h이며, 충돌각은  $-10.06^\circ$ ,  $-179.78^\circ$ 이다. 마이티가 중앙선을 넘은 자세로 좌커브 오르막 구간을 선회하다가 마주 오던 포터를 인지하고 자기 진행 차로로 복귀하는 자세에서 마주 오던 포터의 전면 좌측 부위와 충돌 후 포터는 자기 진행 차로로 우대각선 방향으로 튕겨나가 최종 정지하였고, 마이티의 전면이 우측으로 밀리면서 중앙선상에 타이어 흔적을 발생시키고 스티어링 기어박스 성트 샤프트가 절단되면서 지탱하지 못한 앞차축의 좌전륜이 우전륜보다 뒤로 밀렸고 차체는 주행 관성으로 인해 틀어진 앞차축을 하체 밑에 낀 채로 좌측으로 약간 틀어진 상태로 진행하였다.

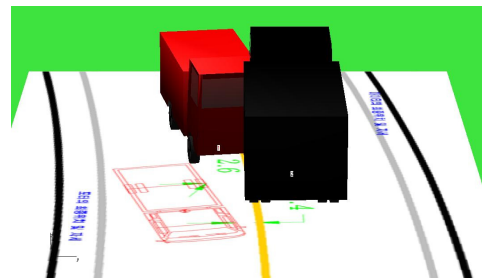


Fig. 12. Initial Collision Position (3D)

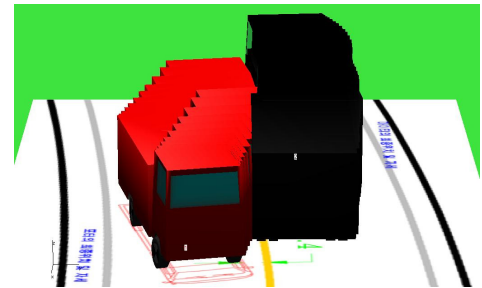


Fig. 13. Behaviour After Maximum (3D)

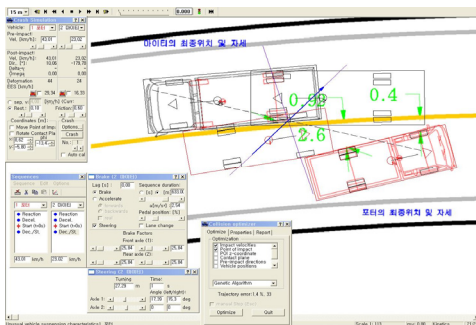


Fig. 10. Collision Posture of Both Vehicles (2D)

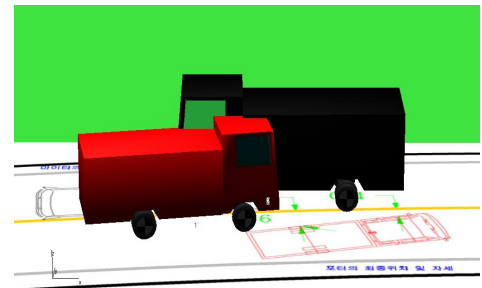


Fig. 14. Initial Collision Position (3D)

Table 1. Start Values

Vehicle	Porter	Mighty
Velocity magnitude (v) [km/h]	43.01	23.02
Heading angle [deg]	10.06	-179.78
Velocity direction (β) [deg]	10.06	180.22
Center of gravity x [m]	7.93	9.87
Center of gravity y [m]	-6.55	-4.93

Table 2. End Values

Vehicle	Porter	Mighty
Velocity magnitude (v) [km/h]	0.41	0.56
Heading angle [deg]	12.61	-174.79
Velocity direction (β) [deg]	-10.27	195.06
Center of gravity x [m]	12.30	6.06
Center of gravity y [m]	-7.34	-4.94

Table 3. Collision

Vehicle	Porter	Mighty
Pre Impact vel. [km/h]	43.01	23.02
Velocity change (dV) [km/h]	18.18	10.23
Deformation depth [m]	0.44	0.24
EES [km/h]	29.34	16.33
Stiffness [kN/m]	619.1	1103.3
Coefficient of restitution (e)	0.10	
Separation speed [km/h]	48.0	
Friction coefficient (mu)	0.60	
Point of Impact x [m]	8.62	
Point of Impact y [m]	-5.80	
Angle of contact plane (phi) [deg]	-13.47	
Total Deformation Energy [J]	91559.09	
Impulse [Ns]	8917.77	
Direction of impulse [deg]	-134.43	
Moment arm about C.G. [m]	0.03	0.28
PDOF (SAE) [deg]	-35.51	-45.35
dV/EES	0.62	0.61

Table 4. Values Before Collision

Vehicle	Porter	Mighty
Velocity magnitude (v) [km/h]	43.01	23.02
Heading angle [deg]	10.06	-179.78
Velocity direction (β) [deg]	10.06	180.22
Yaw velocity [rad/s]	0.00	0.00
Center of gravity x [m]	7.93	9.87
Center of gravity y [m]	-6.55	-4.93

Table 5. Values After Collision

Vehicle	Porter	Mighty
Velocity magnitude (v) [km/h]	30.12	17.49
Heading angle [deg]	10.06	-179.78
Velocity direction (β) [deg]	-10.47	156.13
Yaw velocity [rad/s]	0.07	-0.02
Center of gravity x [m]	7.93	9.87
Center of gravity y [m]	-6.55	-4.93

Table 6. Sequences

Vehicle	Porter	Mighty	
REACTION Reaction time [sec]	0.50	0.50	
BRAKE LAG Threshold time [sec]	0.20	0.20	
BRAKE maximum stopping distance [m]	10.00	10.00	
Brake force [%]	Axle 1, left	0.00	0.00
	Axle 1, right	0.00	0.00
	Axle 2, left	0.00	0.00
	Axle 2, right	0.00	0.00
mean brake acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.00	0.00	

Table 7. Porter Start Values

Vehicle	Porter		
Velocity [km/h]	43.01	43.01	
Friction coefficient	0.80	0.80	
Reaction time [sec]	0.50		
BRAKE LAG Threshold time [sec]	0.20		
BRAKE maximum stopping distance [m]	10.00	620.00	
BRAKE LAG Threshold time [sec]	0.20		
Brake force [%]	Axle 1, left	0.00	448.00
	Axle 1, right	0.00	293.00
	Axle 2, left	0.00	76.10
	Axle 2, right	0.00	76.10
mean brake acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	0.00	-7.67	
STEERING Steering time [s]	1.00		
New steering angle [deg]	Axle 1	6.44	
	Axle 2	0.00	
Turning circle [m]	50.01		

Table 8. Mighty Start Values

Vehicle	Mighty		
Velocity [km/h]	23.02	43.01	
Friction coefficient	0.80	0.80	
Reaction time [sec]	0.50		
BRAKE LAG Threshold time [sec]	633.00		
BRAKE maximum stopping distance [m]	10.00	620.00	
BRAKE LAG Threshold time [sec]	0.20		
Brake force [%]	Axle 1, left	25.84	448.00
	Axle 1, right	25.84	293.00
	Axle 2, left	25.84	76.10
	Axle 2, right	25.84	76.10
mean brake acceleration [m/s <sup>2</sup> ]	-2.54	-7.67	
STEERING Steering time [s]	1.00	1.00	
New steering angle [deg]	Axle 1	17.39	6.44
	Axle 2	0.00	0.00
Turning circle [m]	27.29	50.01	

### 3.1 양 차량의 충돌 전후 거동

포터의 진행 차로에 노면 파인 흔적이 없고 편구배가 포터의 진행 방향으로 기울어져 마이티의 액체 비산물이 포터의 진행 차로 방향으로 흘러내렸다. 양 차량은 충돌 전에 급제동한 타이어 흔적(skid mark)이 없으나 포터의 최종 정지 위치에서 후미등에 브레이크 램프가 들어와 있는 것으로 볼 때 충돌 직전에 제동하였으나 이에 미치지 못하였고 마이티의 후미등 브레이크 램프는 꺼져 있다.

마이티의 진행 차로에 발생한 흔적을 두 가지로 구분하면 하나는 포터와 충돌 당시 마이티의 조향 기어박스 섹터축이 부러지면서 앞차축이 틀어질 때 발생시킨 타이어 흔적이 중앙선상에 존재한다. 다른 하나는 포터와 이미 분리된 상태에서 마이티의 앞차축이 팬스프링에서 이탈되어 뒤로 밀리는 상태에서 주행 관성으로 차체는 앞으로 이동하고 앞차축이 뒤로 밀린 앞쪽이 주저앉으면서 노면과 접촉하여 발생시킨 노면이 파인 흔적이다.

마이티의 좌후륜 최종 위치 좌측에 위치한 중앙선에 발생한 타이어 흔적은 중앙선을 넘어 진행한 마이티의 좌측면을 포터가 충돌하여 마이티의 좌측면이 우측으로 밀려갈 때 마이티의 좌전륜이 비벼진 것이다.

중앙선상에 발생된 타이어 흔적과 마이티의 우후륜 최종 위치 안쪽에 발생된 타이어 빗살무늬 형태는 마이티의 앞차축이 틀어질 때 발생하였다. 동 흔적의 안쪽 발생 위치가 중앙선으로부터 약 1.55 m이며 충돌 당시 마이티가 중앙선을 넘어 진행하다가 마주 오던 포터를 인지하고 자기 진행 차로로 완전히 진입하지 않은 자세에서 충돌하였다. 포터의 진행 차로에는 노면 파인 흔적 등이 발생되지 않았는데 마이티를 충돌한 포터의 손상 부위가 캐빈 좌측부위만 압궤된 상태이고 좌전륜 안쪽 하체의 구성 부품(로우암, 스테이빌라이저, 서포트암 등)에 손상 흔적이 없고, 마이티의 진행 차로에 발생된 파인 흔적과 무관하고 포터의 진행 차로에는 파인 흔적 등이 없다.

포터는 마이티의 전면 좌측 부위를 충돌 후 우대각선 방향으로 튕겨나가 자기 진행 차로에 약 11시 내외 방향으로 향해 최종 정지하였다. 포터의 충돌로 마이티의 전면이 우측으로 약간 틀어진 상태이고 마이티의 조향기어박스 섹터축이 파손되어 앞차축의 좌전륜 부위가 우전륜에 비해 뒤로 더 밀린 상태에서 주행 관성으로 차체가 앞으로 진행되는 과정에서 차체는 좌측으로 약간 틀어지며 최종 위치까지 이동하였고, 이 과정에서 주저앉은 전면 하체 부위가 노면과 접촉하여 발생시킨 파인 흔적이 발생되었다.

양 차량의 초기 충돌 자세는 중앙선을 넘어 진행한 마이티와 마주 오던 포터가 충돌하였고 충돌 전후의 마이티가 중앙선을 넘어 진행하였다. 차체 전폭 2.08 m의 마이티가 약 3.1 m의 차로폭을 가진 오르막 좌커브 구간에서 중앙선을 약 0.3 m 내외 침범하여 진행하다가 자기 차로로 복귀하는 과정에서 마주 오던 포터와 충돌하였다.

시뮬레이션을 수행한 결과는 Fig. 10과 11에서 보는 바와 같고, 이를 토대로 충돌전후 상황을 캐드 프로그램으로 Fig. 15와 16과 같이 작성하였다. 마이티가 중앙선을 넘은 자세로 오르막 좌커브 구간을 진행하다가 마주 오던 포터를 인지하고 자기 진행 차로로 복귀하는 과정과 포터의 전면 좌측면이 충돌하였다.

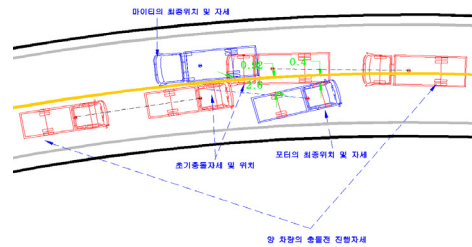


Fig. 15. Pre-Collision Progression

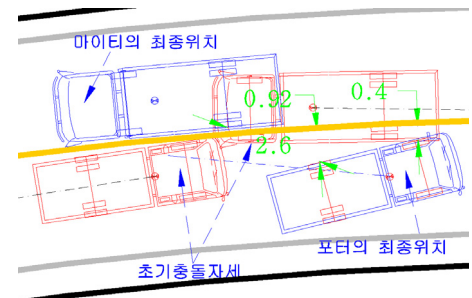


Fig. 16. Initial Collision Position

## 4. 결론

본 연구는 시뮬레이션 프로그램인 PC-Crash를 이용하여 양 차량의 충돌 속도, 충돌 전 진행 자세 등의 관계를 현장조사를 통한 자료와 비교·분석하였다.

시뮬레이션을 통한 실험 결과 양 차량의 충돌전 속도가 높지 않아 차량의 충돌 속도가 낮을수록 이탈각의 영향을 크게 받지 않고 속도가 높은 차량의 속도에 영향을 크게 받고 충돌 이후에는 속도가 낮은 차량은 속도가 높

아지고 속도가 높은 차량은 속도가 낮아진다. 양 차량은 충돌 전의 진행 자세로 충돌하고 회전 등의 변화가 거의 없이 최종 위치로 진행하였다.

본 연구의 시뮬레이션 결과를 보면 양 차량의 초기 충돌 자세는 중앙선을 넘어 진행한 마이티와 마주오던 포터가 충돌하였고 충돌 전후의 마이티가 중앙선을 넘어 진행하였다.

차체 전폭 2.08 m의 마이티가 약 3.1 m의 차로폭을 가진 오르막 좌커브 구간에서 중앙선을 약 0.3 m 내의 침범하여 진행하다가 자기 차로로 복귀하는 과정에서 마주 오던 포터와 충돌하였다. 마이티가 중앙선을 넘은 자세로 오르막 좌커브 구간을 진행하다가 마주 오던 포터를 인지하고 자기 진행 차로로 복귀하는 과정과 포터의 전면 좌측면이 충돌하여 포터가 우대각선 방향으로 밀려나 전면이 약 11시 방향을 향해 최종 정지하는 것을 규명하였다.

사고원인이 불분명한 중앙선 침범사고는 시뮬레이션을 이용하여 충돌 전 진행 자세 등을 검증하여 원인 제공자를 규명하여야 한다는 사실을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다.

[6] Jihun Choi, Jonhcheol Bag, Woosik Park, Myungchul Park, Seungchul Bae, "Study on the collision analysis by genetic algorithm in PC-CRASH", Korean Journal Science, Vol. 10, No. 1, pp. 39-44, 2009.

[7] Chang-Pyoung Han and Hong-Ju Choi, "A study on the estimation of impact velocity of crashed vehicles in tunnel using computer simulation(PC-CRASH)", J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.14 No.4, 2020.

한 창 평(Chang-Pyoung Han)

[정회원]



- 1994년 2월 : 한양대학교 교통공학 (공학석사)
- 2007년 8월 : 경희대학교 기계공학 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2019년 2월 : 상지영서대학교 자동차과 교수
- 2020년 3월 ~ 현재 : 상지대학교 스마트자동차공학과 교수

<관심분야>

교통사고 분석 및 재현, 자동차 설계 및 안전

## References

[1] Sanghyeon Lim, Wontaek Oh., Jihun Choi and Jongchan Park, "Estimation Collision Speed of Vehicle by Using PC-CRASH Collision Optimizer", Transactions od KSAE, Vol. 27, No. 12, pp. 911-917, 2019.

[2] Sanghyeon Lim, Wontaek Oh., Jihun Choi and Jongchan Park, "Estimation Collision Speed of Vehicle by Using PC-CRASH Collision Optimizer", Transactions od KSAE, Vol. 27, No. 12, pp. 911-917, 2019.

[3] Wang-su Ha and Seok-young Han, "Establishment of Important Impact Parameters of Traffic Accident Reconstruction Program 'PC-CRASH'", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 21, No. 2, pp. 155-164, 2003. 04.

[4] Jong-Duck Kim, Jun-Kyu Yoon, "Reliable Study on the Collision Analysis of Traffic Accidents Using PC-Crash Program", he Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 12, No. 5, pp. 115-122, 2012. 5.

[5] Yong-Soon Choi, Se-Ryong Baek, Jong-Kil Jung, Jeong-Kwon Cho, Jun-Kyu Yoon, "A Study on the Rollover Behavior of SUV and Collision Velocity Prediction using PC-Crash Program", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 18, No. 2, pp. 227-235, 2018.