Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 22, No. 2 pp. 507-513, 2021

https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.2.507
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

시뮬레이션을 이용한 차량의 중앙선 침범 사고 해석

한창평
상지대학교 스마트자동차공학과

Analysis of vehicle central line invasion accidents using simulation

Chang-Pyoung Han
Department of Smart Automobile Engineering, Sangji University

요 약 본 연구는 노면 흔적이 발생하지 않은 충돌 사고 사례를 중심으로 양 차량의 최종 정지 위치 및 자세, 차량 파손 부위, 노면 흔적, 차량의 제원, 충돌 각도. 충돌 속도, 제동 여부, 조향 여부 등의 자료를 토대로 교통 사고 분석을 위해 사용하는 차량 충돌 해석 시뮬레이션 프로그램인 PC-CRASH을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 차대 차 사고에서 충격 자세, 제동 여부, 최종 정지 위치, 충격 지점 및 충돌 속도는 사고 재구성을 위한 중요한 요소이다. 특히, 충돌 속도는 가장 중요한 쟁점이다. SM5와 렉서스의 충돌 속도는 각각 131km/h, 74km/h, SM5와 렉서스의 충돌각은 각각 0.91°, -161.07°으로 분석되었다. 사고 원인은 교차로를 통과하는 SM5가 최고 제한 속도를 61km/h 초과하여 렉서스의 좌회전 차로로 진입하였고, 렉서스는 충돌을 회피하기 위한 과정에서 충돌하였다. 시뮬레이션의 충돌 궤적 오차율은 약 1.4%이다. 사고 조사자의 주관적인 경험에서 벗어나 충돌 역학 및 차량 공학 측면과 시뮬레이션을 적극 활용하여 사실에 근접한 원인 규명을 제시하였다.

Abstract This study examined the final stop position and posture of both vehicles, the damaged part of the vehicle, the road surface, the specifications of the vehicle, and the angle of impact, centering on the case of a collision in which no surface trace was found. As a result of the simulation, the impact velocity of an SM5 and Lexus was 131 km/h and 74 km/h, respectively, and the impact angle of the SM5 and Lexus was 0.91° and -161.07°, respectively. The cause of the accident was that the SM5 passed through the intersection exceeding the maximum speed limit of 61 km/h and entered the Lexus' left turn lane. Lexus collided during the evacuation to avoid the collision. The collision trajectory error rate of the simulation was approximately 1.4%. Of the subjective experience of accident investigators, the collision dynamics and vehicle engineering aspects and simulations were actively utilized to provide close-to-fact cause identification.

Keywords : Collision, Simulation, Impact Velocity, Trajectory, Maximum Speed Limit, Accident Investigators, Vehicle Engineering

*Corresponding Author : Chang-Pyoung Han(Sangji Univ.)
email: hancp@daum.net
Received October 27, 2020 Revised January 5, 2021
Accepted February 5, 2021 Published February 28, 2021

1. 서론

사고원인의 규명에 있어 운전자의 주장이 상반될 때 조사자는 주관적인 경험에 의한 결정을 하지 않아야 한다. 본 연구에서는 규명하는 사고는 렉서스 승용차와 SM5 승용차가 정면 충돌하였고, 현장 노면에는 충돌 전의 흔적이 발생하지 않았다. 사고원인을 객관적으로 분석하기 위해 사고현장의 물적 증거자료를 객관적으로 수집하여 차량공학, 자동차 역학, 주행 역학, 사고조사, 사고재현, 교통공학, 도로공학 등을 적용하여 사고원인을 분석하였다.

사고현장은 직진 2개 차로로 구성되고 교차로 정지선에 근접하여 좌회전 차로가 추가로 설치된 도로 환경이다. 충돌 지점에 도달하기 전에 렉서스와 SM5는 진행 방향이 서로 다른 도로로 진행하다가 중앙선 부근에서 충돌한 사고로, 운전자 서로의 주장이 일치하지 않아 원인 규명을 위하여 시뮬레이션 프로그램인 PC-CRASH을 통해 원인 규명을 하고자 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 도로 선형

렉서스와 SM5의 진행 방향에서 볼 때, 최고 제한 속도는 70 km/h이고, 2중 황색 실선의 중앙선이 설치된 편도 2차로(좌회전 차로 제외)이다. 사고지점은 신호등이 설치된 교차로 부근으로 도로의 선형을 육안으로 볼 때 거의 직선이다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 교차로에 접하여 양 차량의 진행 방향에서 좌회전 차로가 구획되어 있다. 도로상황 및 차량의 최종 정지 위치는 Fig. 1과 같다.

Fig. 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 렉서스 진행 방향 좌회전 차로의 폭은 약 2.9 m, 1차로와 2차로의 폭은 약 3.0 m, 길 어깨의 폭은 약 0.7 m이다. SM5 진행 방향의 1차로의 폭은 약 3.0 m, 2차로의 폭은 약 4.6 m, 길 어깨의 폭은 약 0.7 m이고, 사고 당시 노면은 건조하였다. 도로의 중앙에는 2중 황색 실선의 중앙선이 설치되어 있으며, 좌우측 편에는 가로등이 설치되어 있고, 보도와 차도가 구분된 도로이다. 사고지점 근접거리에는 신호등이 설치된 교차로와 접속되어 있고 사고 구간의 도로상황은 비교적 평탄한 직선 구간으로 특별한 시야장애는 없다.

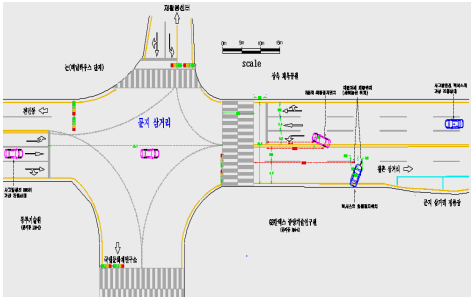


Fig. 1. Road structure and final stop location of accident site

Fig. 2. Road Structure of Accident Site

Fig. 3. Roadline Viewed from the Direction of SM5

2.2 교통사고 현황

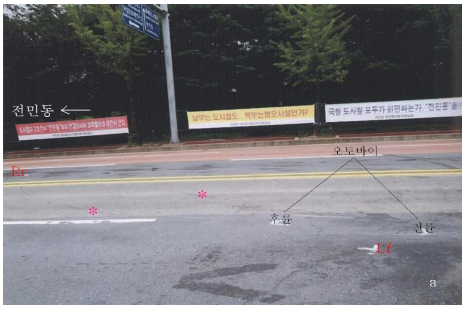
2.2.1 노면 흔적

Fig. 4와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 사고현장의 도로상황 등을 정밀조사 하였으나 충돌지점을 예상할 수 있

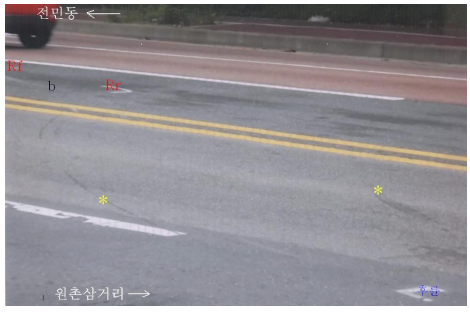
는 충돌 스크럽(Collision Scrub), 노면 금속 흔적, 급제동 타이어 흔적(Skid Marks) 등은 마킹되어 있지 않고 기타 특별한 물리적인 흔적을 발견할 수 없었다. 표시되지 않은 흔적은 사고 당시 촬영 영상물에서 렉서스 진행방향 좌회전 차로에 현출된 금속 흔적이 관찰되며, 동 금속 흔적의 끝점 방향성은 중앙선을 향해 휘어져 렉서스의 최종 정지 위치를 향한다. 양 차량이 최대로 맞물렸다가 분리되는 과정에서 회전되며 뒤쪽으로 밀려나는 렉서스의 손상된 하체 부위가 노면에 맞닿아 생성된 흔적이다.

Fig. 4. Final location of vehicle

(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Traces of road surface at accident site

Fig. 6. The final stop position of the vehicle

Fig. 7. The final stop position of the vehicle

Fig. 8. Lexus Final Stop Posture

Fig. 6 ~ Fig. 8에서 보는 바와 같이 파편은 중앙선을 기준으로 양방향 차로에 폭넓게 비산되어 있고, SM5의 진행 방향 차로 쪽에 더 많은 파편물이 렉서스 최종 정지 위치까지 폭넓게 비산되었다.

2.2.2 최종 정지 자세

Fig. 9 와 Fig. 10에서 보는 바와 같이 SM5는 렉서스의 진행 방향 정지선으로 부터 중앙선을 따라 약 12.5 m 지점의 중앙선 내측 약 0.6 m 지점의 좌회전 차로에 좌전륜이 위치하고, 좌후륜은 약 15 m 지점에 중앙선을 밟고, 약 156.37 ° 정도 회전된 채 전면이 7시 방향을 향해 약간 틀어진 우대각선 방향을 바라보는 자세로 최종 정지하였다.

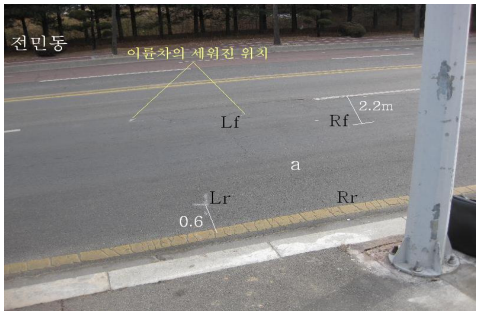


Fig. 9. The final stop location of Lexus

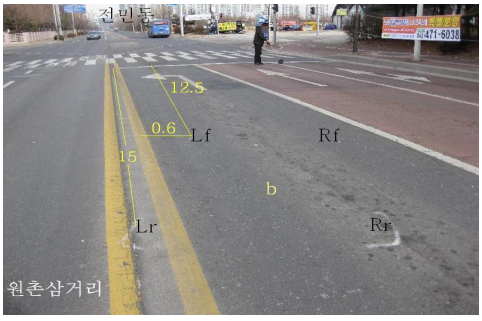


Fig. 10. Final stop location of SM5

렉서스는 횡단보도 전단부에서 약 26 m 떨어진 가로등 앞에 즉 SM5의 진행방향 2차로에 후미부위가 반시계 방향으로 약 64.27 °정도 회전된 채 뒤로 밀려나 전면이 약 5시 방향의 우대각선 방향으로 최종 정지하였다.

2.2.3 손상 부위

손상 부위는 시뮬레이션에서 충돌 자세를 설정하는데 매우 중요하다. 충돌 자세가 조금만 상이해도 양 차량이 충돌 후 최종 정지 위치로 이동하지 않거나 다른 위치로 이동하게 되므로 결정적인 요인이 된다.

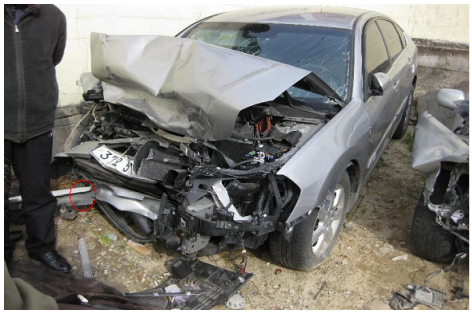


Fig. 11. Front damaged part of SM5

Fig. 12. Damaged parts of SM5

Fig. 11과 Fig. 12에서 보는 바와 같이 SM5은 전륜이 우측으로 약간 변형된 자세로 직접충돌에 의한 손상흔적이 전면부위에 집중되었다. 전면부 전체가 심하게 함몰되었다. 앞 범퍼 및 후드가 손상되고, 손상된 앞 범퍼의 틈새에 렉서스의 앞 범퍼패널 조각 일부가 삽입되어 있다. 앞 범퍼 우측 모서리에 렉서스의 번호판아 각인되었고, 우측 앞 휀더패널과 우전륜은 휠 하우스와 밀착되고 타이어의 외측부가 파손되었다.

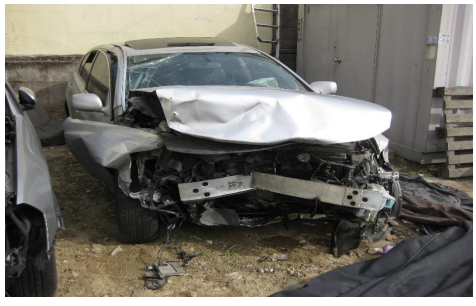


Fig. 13. Damage to Lexus

Fig. 14. The left side of Lexus

렉서스는 Fig. 13과 Fig. 14에서 보는 바와 같이전면부에 충돌손상이 집중되었다. 앞 범퍼 레일의 우측부위와 후드가 손상되고, 전면의 손상부위는 후방으로 밀림. 전조등, 라디에이터 그릴은 차체에서 이탈되고 좌측 앞 휀더패널의 전단부는 뒤로 밀렸다. 좌측 뒷 도어패널과 휠하우스 부위에 이륜차와 접촉으로 인해 경미한 쓸린 흔적이 있고, 우측 앞 휀더패널은 심하게 파손되고, 손상된 우전륜은 후방으로 밀려 휠 하우스와 밀착되었다.

2.3 충돌 자세

Fig. 16에서 보는 바와 같이 SM5와 렉서스의 손상부위, 도로구조, 최종정지위치 등을 고려할 때 SM5는 거의 정자세로 진행하는 자세이고, 렉서스는 충돌 직전, 좌측으로 핸들을 조향하는 자세에서 양 차량의 우전면 부위가 최초접촉 되면서 렉서스의 진행방향의 좌회전 차로에서 양 차량이 최대 충돌 결합자세로 해석된다.

2.4 충돌 전후의 진행 상황

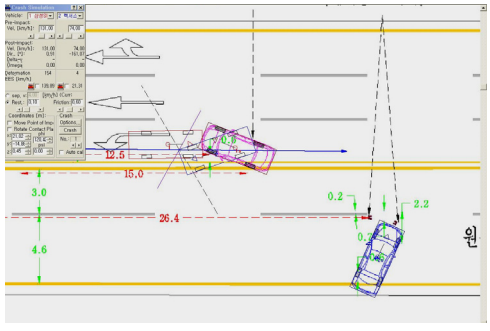


Fig. 15. Collision Position Simulation (2D)

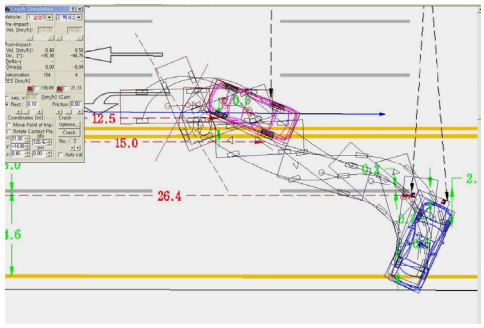


Fig. 16. Simulation Before and After Collision (2D)

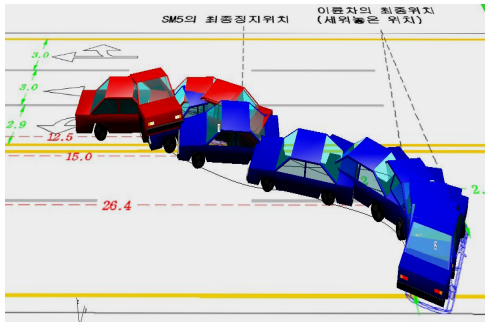


Fig. 17. Simulation of Trajectory Before and After Impact(3D)

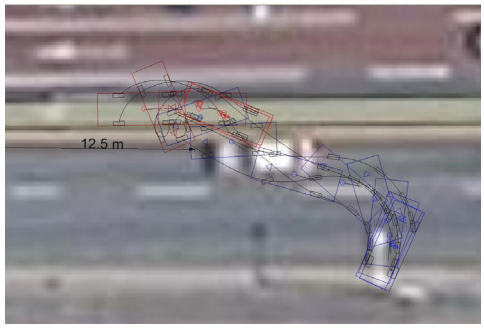


Fig. 18. Simulation of Progress Trace After Collision (2D)

SM5와 렉서스의 손상 부위, 도로 구조, 최종 정지 위치 등을 고려할 때 Fig. 15 ~ Fig. 18에서 보는 바와 같이 SM5는 거의 정자세로 진행하는 자세이고, 렉서스는 충돌 직전에 충돌을 피하고자 좌측으로 핸들을 조작한 자세에서 양 차량의 전면부가 최초 접촉하면서 렉서스 진행 방향 좌회전 차로에서 양 차량이 최대로 맞물려지는 충돌 자세를 보이다가 분리되는 과정에서 SM5와 렉

서스는 후미부가 시계방향과 반시계방향으로 각 회전되면서 최종 정지 위치까지 더 진행하여 완전 분리되었고 SM5는 렉서스 진행 방향에 설치된 정지선으로부터 중앙선을 따라 약 12.5m 지점의 중앙선 내측 약 0.6m 지점의 좌회전 차로에 좌전륜이 위치하고, 좌후륜은 약 15m 지점에 중앙선을 밟고, 약 156.37° 회전된 채 전면이 약 7시 방향을 향해 약간 틀어진 우대각선 방향을 바라보는 자세로 최종 정지하였다. 렉서스는 횡단보도 전단부에서 약 26m 떨어진 가로등 앞에 위치하는데 충돌과정에서 앞부분이 좌측으로 밀려나며, 후미부위가 반시계방향으로 틀어져 밀려나 약 64.27° 회전된 채 SM5의 진행방향 2차로에 전면이 약 5시 방향의 우대각선 방향을 바라보는 자세로 최종 정지하였다.

3. 시뮬레이션 결과

파손 부위, 도로 구조, 충돌 전의 차량의 진행 방향, 차량의 최종 정지 위치 등으로 충돌지점 및 자세를 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 1. Start Values

Vehicle	SM5	Lexus
Velocity magnitude (v) [km/h]	131.00	74.00
Heading angle [deg]	0.91	-161.07
Velocity direction (ß) [deg]	0.91	198.93
Yaw velocity [rad/s]	0.00	0.00
Center of gravity x [m]	20.27	23.42
Center of gravity y [m]	-14.51	-14.99
Center of gravity z [m]	0.30	0.40

Table 2. End Values

Vehicle	SM5	Lexus
Velocity magnitude (v) [km/h]	0.40	0.59
Heading angle [deg]	156.37	64.27
Velocity direction (ß) [deg]	-35.38	265.58
Yaw velocity [rad/s]	0.00	-0.04
Center of gravity x [m]	24.72	34.00
Center of gravity y [m]	-14.84	-21.94
enter of gravity z [m]	0.30	0.40
Velocity vertical [km/h]	-0.24	-0.00
Roll angle [deg]	-0.31	0.75
Roll angle [deg]	-1.07	-0.46
Roll velocity [rad/s]	-0.05	-0.01
Pitch velocity [rad/s]	0.04	-0.00

Table 3. Collision

Vehicle	SM5	Lexus
t [s]	0.00	0.00
Pre Impact vel. [km/h]	131.00	74.00
Pre Impact vel. [km/h]	20.29	38.81
Velocity change (dV) [km/h]	110.95	99.72
Deformation depth [m]	1.54	0.04
EES [km/h]	139.89	21.31
Stiffness [kN/m]	959.3	37166.2
Separation speed [km/h]	20.1	
Friction coefficient (mu)	0.60	
Point of Impact x [m]	21.02	
Point of Impact y [m]	-14.86	
Point of Impact z [m]	0.45	
Angle of contact plane (phi) [deg]	120.42	
Angle of contact plane (psi) [deg]	0.00	
Total Deformation Energy [J]	1169506.44	
Impulse [Ns]	46536.01	
Direction of impulse [deg]	179.46	
Moment arm about C.G. [m]	0.34	0.11
PDOF (SAE) [deg]	1.46	19.48
dV/EES	0.79	4.68

Table 4. Values Before Collision

Vehicle	SM5	Lexus
Velocity magnitude (v) [km/h]	131.00	74.00
Heading angle [deg]	0.91	-161.07
Velocity direction (ß) [deg]	0.91	198.93
Yaw velocity [rad/s]	0.00	0.00
Center of gravity x [m]	20.27	23.42
Center of gravity y [m]	-14.51	-14.99
Center of gravity z [m]	0.30	0.40

Table 5. Values After Collision

Vehicle	SM5	Lexus
Velocity magnitude (v) [km/h]	20.29	38.81
Heading angle [deg]	0.91	-161.07
Velocity direction (ß) [deg]	8.91	319.98
Yaw velocity [rad/s]	-6.15	-1.70
Center of gravity x [m]	20.27	23.42
Center of gravity y [m]	-14.51	-14.99
Center of gravity z [m]	0.30	0.40
Roll velocity [rad/s]	-0.23	-0.90
Pitch velocity [rad/s]	-2.70	-0.76

충돌 당시 양 차량의 속도 및 충돌 자세는 Table 1 ~ Table 3과 같고, 충돌 전후 자료는 Table 4, Table 5와 같다. Table 2에서 보는 바와 같이 SM5와 렉서스 충돌 속도는 131.00 km/h, 74.00 km/h이고, 충돌각은 0.91 °, -161.07 °, 속도 방향은 0.91 °, 198.93 °이다. 요 속도는 0.00 rad/s, 0.00 rad/s, x축 방향의 무게중심은 -14.51 m, -14.99 m, y축 방향의 무게중심은 20.27 m 23.42 m, z축 방향의 무게중심은 0.30 m 0.40 m이다.

Fig. 15 ~ Fig. 18에서 적색 표기 차량은 SM5, 청색 표기 차량은 렉서스로 구분하였다. SM5는 불상의 이유로 렉서스의 진행 방향의 좌회전 차로로 갑자기 진입하여 진행하는 것을 마주오던 렉서스가 자기 진행차로에서 좌측으로 피양하는 과정에서 충돌되어 SM5 후미가 시계방향으로 회전하였고, 렉서스의 전면은 좌측으로 밀려나 시계반대방향으로 틀어져 뒤로 밀리면서 최종위치로 이동한다. 시뮬레이션의 오차는 약 1.4%이다.

4. 결론

본 연구에서 양 차량의 파손 부위, 도로구조, 양 차량의 진행 방향 및 최종 정지 위치, 노면 흔적 등을 토대로 캐드 프로그램으로 작성한 도면을 시뮬레이션에 이용하였다. 시뮬레이션의 충돌 오차율이 5% 미만이면 사고상황과 부합되는 것으로 판단하는데 본 연구에서 적용한 시뮬레이션에서는 약 1.4%이므로 사고상황과 부합한다.

SM5와 렉서스의 충돌 속도는 131 km/h, 74 km/h 이고, 충돌각은 0.91 °, -161.07 ° 이다. 그러므로 사고원인은 SM5이 최고 제한속도보다 약 61km/h를 초과하여 역주행한 사실을 확인할 수 있었다.

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.

[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 교통공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : 경희대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2019년 2월 : 상지영서대학교 자동차과 교수
- 2020년 3월 ~ 현재 : 상지대학교 스마트자동차공학과 교수

〈관심분야〉
교통사고 분석 및 재현, 자동차 설계 및 안전