◎ 논 문

http://dx.doi.org/10.22680/kasa2019.11.3.013

# 자율주행자동차에서 비정상 착석상태로 운전 시 에어백 작동시간(TTF)에 따른 승객 상해도 비교

박지양* · 윤영한*

# Comparison of Severity of Occupant Injuries due to Different Airbag TTF with Occupant's Abnormal Seating Conditions while Driving an Automated Driving Vehicle

Jiyang Park*, Younghan Youn*

*Key Words : Airbag(에어백), Abnormal condition(비정상 상태), TTF(발화시간), Injury(상해)*

ABSTRACT

According to the development of autonomous vehicles worldwide, the driver's posture may not be a normal posture but the various seating positions. Recently, a numbers of research activities has been focused to protect of driver and passengers in various seating positions as well as seating postures. In this paper, the occupant injury severity was evaluated with different seat positions, seatback angles and TTF times.

## 1. 서 론

4차 산업혁명 시대에 맞춰 자율자동차 및 능동형 운전자 보조시스템 ADAS(Advanced Driver Assistant System) 개발이 활발하다.(1) 몇 자동차 제조사에서는 고속도로에서 운전자가 전방주시만 해도 될 정도의 기술력을 보유하고 있다.(2) 이렇듯 자동차의 미래는 빠르게 자율주행 자동차 시대로 다가가고 있다. 자율주행자동차 시대가 빨리 온다는 것은 차량 내 승객의 자율성도 빠르게 확보된다는 것이고 이는 사고 발생 시 승객의 상해의 경향이 착석 상태의 자율성 때문에 지금의 상황과는 다르게 된다는 것이다.

이러한 경향은 운전자의 좌석 착석상태가 현재와 같이 정형적인 자세가 아닌 자유롭고, 편안한 자세를 취하게 된다는 것을 의미한다.

교통사고 발생 시 시트위치, 등받이 각도는 승객의 착좌 상태를 결정하며, 운전자의 상해에 중요한 영향을 미친다. 하지만 현재의 차량안전장구는 대부분 법규 시험 조건으로 최적화되어 있기 때문에 비정상 착좌 자세의 승객안전을 보장하기는 어렵다. 실제로, 북미 필드사고 통계조사결과(NASS/CDS)에 의하면, 시트 등받이를 뒤로 기울일수록 상해지수는 1.3배, 사망률은 1.7배 증가하는 것으로 나타났다.(3)

최근 자율주행 차량 개발 이슈와 함께, 미국 도로 교통안전국(NHTSA)에서는 어떠한 착좌조건의 승객에 대해서도 기존의 충돌안전 수준을 유지할 것을 요구하였다. 이는, 비정상적인 착좌 조건을 갖는 승객의 충돌안전성 확보에 대한 연구가 필요해 졌다.(4)

또한, 교통사고로부터 인명피해를 줄이기 위하여 에어백의 장착이 의무화 되어 있다. 차량 충돌 시 에어백은 정상위치에 있는 승객의 상해치는 감소시키나 비정상위치에 있을 때는 승객이 받는 상해치가 증가할 수 있다.(5) 그러므로 에어백의 발화시간 TTF(Time To Fire)값이 승객의 착석위치 즉 시트의 슬라이드 위치나 각도에 따라서

* 한국기술교육대 메카트로닉스공학과
E-mail : pjy2049@kut.ac.kr


논문접수일: 2019.5.23, 논문수정일(1차: 2019.8.29, 2차: 2019.9.11), 게재확정일: 2019.9.18

도 선형적으로 변화되어야 한다. 하지만 현재의 자동차에 장착된 에어백의 발화시간은 고정적으로 되어 있다.

따라서 본 연구는 비정상 상태 운전 시 정면충돌에서의 상해 분석 논문 발표한 내용을 기준으로 운전자의 좌석 위치 및 운전자의 착석 각도를 요인으로 활용하여 에어백의 TTF에 따른 정면충돌 시 더미의 상해 경향을 보기 위한 시험을 진행하였다. 더미로는 5th Female Hybrid III Dummy와 50th male HybridIII Dummy를 사용하여 여성과 남성의 경우를 나누고, 좌석의 상태와 운전자 착석 상태는 dashboard와의 기준으로 far for dashboard와 near for dashboard 로 구분 하여 각 경우의 상해치를 파악하였다. 또한 에어백의 발화 시간의 경우 0ms부터 45ms까지 5ms 간격으로 나누어서 충돌해석 프로그램인 MADYMO를 통해 해석 연구를 진행하였다.

위의 결과를 활용하여 에어백의 발화시간을 유동적으로 변화하여 자동차사고 시 다양한 자세의 승객이 에어백 효과를 가장 잘 받을 수 있도록 하여 승객의 상해 감소에 기대효과가 있으며, 다양한 자동차 회사 및 에어백 제조업체에서 이를 활용이 되는 것을 목표로 하고 있다.

## 2. 충돌시험 모델 구성 및 평가방법

### 2.1. 시험 방법

현재 KIDAS(Korean In-Depth Accident Study) data로부터 정면 충돌사고가 46.9%로 가장 높은 빈도로 발생하는 것을 확인 할 수 있기 때문에[6] 이에 따라 시험 모델은 크게 100% 정면충돌을 기준으로 모델 구성과 해석시간을 최소화하기 위해 슬레드 모델로 구성하였다. 충돌속도는 KNCAP 기준과 같이 56kph로 시험했으며,[7] 시험시간은 100ms로 진행하였다.

### 2.2. 모델의 구성

정면충돌 시 SLED모형은 실차시험에 가까운 모형을

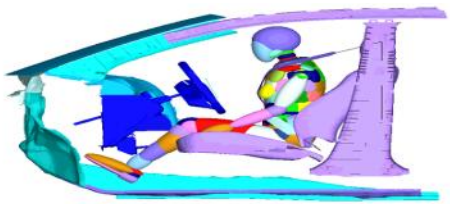

Fig. 1 Sled Model

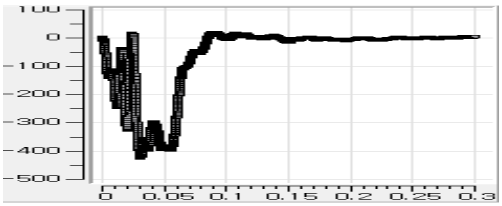


Fig. 2 X Direction Acceleration

Fig. 1과 같이 구성하였다. 또한 실차 FEM 모델에서[8] 100% 충돌하여 나오는 H-Point 가속도 값을 추출하여 Fig. 2와 같이 펄스를 주었다.

50th male Hybrid III Dummy의 경우 차안에서의 위치는 Forward Most, Forward Mid, Mid의 경우 남성더미의 사이즈로 인해 이미 더미와 대시보드간의 접촉이 발생하여 Fig. 3처럼 Rear Mid부터 Rear Most까지 진행했다.

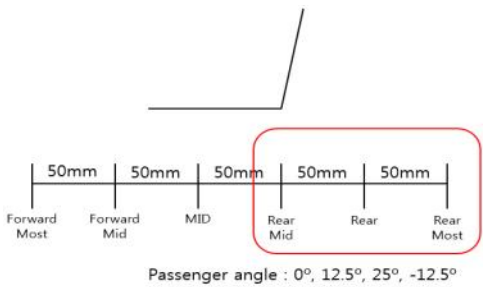


Fig. 3 50th male HybridIII dummy location

상대적으로 더 작은 5th female Hybrid III Dummy의 경우 Forward Most, Forward Mid의 경우 사이즈로 인해 더미와 대시보드간의 접촉이 발생하여 Fig. 4처럼 Mid에서 Rear Most까지의 시험을 진행했다.

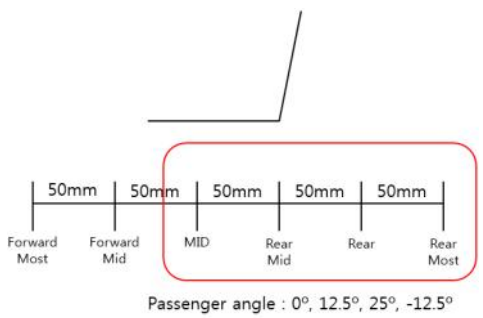


Fig. 4 50th male HybridIII dummy location

Dummy의 착석 자세는 Fig. 5처럼 각도별로 77.5°, 90°, 102.5°, 115°의 경우를 나누어 시험했으며 안전장치로서는 3점식 안전띠와 DAB(Driver Air Bag)을 사용 하였으며, 그 이외의 추가적인 프리텐셔너나 로드리미터의 기능은 사용하지 않았다. DAB의 TTF(Time to Fire)의 경우 0ms부터 45ms까지 5ms의 간격으로 나누어서 충돌 해석 프로그램인 MADYMO를 통해 시뮬레이션을 진행하였다.[9]

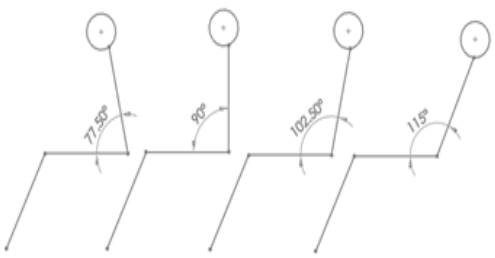


Fig. 5 passenger seating angle

2.3. 평가방법

본 연구는 비정상 상태 운전 시 정면충돌에서의 상해 분석의 연구결과[10]로서 머리상해가 높게 나오는 것을 확인하여 HIC15의 값만을 가지고 평가를 진행하려고 한다.

## 3. 충돌 시뮬레이션

### 3.1 50th male HybridⅢ 상해치 결과

Table 1에서 보이는 바와 같이 0도의 각도에서 가장 상해가 적게 나오는 것을 알 수 있고 30ms에서 급격하게 상해가 증가하는 것을 알 수 있다. 12.5도에서는 5ms와 10ms에서 상해가 적게 나오는 것을 알 수 있다. −12.5도에서는 전체적으로 상해치가 평균적으로 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 35ms~45ms의 값이 존재하지 않는 것은 이미 스티어링 휠과의 접촉을 한 후 에어백이 더미를 강타하여 오류가 발생하였다. 25도에서는 10ms에서 가장 상해치가 적게 나타나는 것을 알 수 있으며 그 외 시간에서는 강한 머리상해가 발생하는 것을 알 수 있다.

Table 2에서 보이는 바와 같이 0도의 각도에서 가장 상해가 적게 나오며 전체적으로 상해치가 적게 나오는 것을 알 수 있다. 12.5도에서는 높은 상해치가 발생 하며, 그나마 35ms~40ms에서 낮은 상해치가 나오는 것을 알 수 있다. −12.5도에서는 10ms까지 적은 상해치가 발생하다가 15ms에서 급격하게 높아지는 모습을 보이고 있다. 마지막으로 25도에서는 에어백과는 상관없이 전체적으로 높은 값이 발생하는 것을 알 수 있으며, 더미 자체가 뒤로 많이 젖혀진 상태이기 때문에 에어백의 효과가 다른 각도에 비해 적다는 것을 알 수 있다.

Table 1 HIC(15) Injury by position according to TTF(Rearrmid)

| | Position | | | |
|---|---|---|---|---|
| TTF | Rearmid 0° | Rearmid 12.5° | Rearmid −12.5° | Rearmid 25° |
| 0 | 403 | 3062 | 548 | 711 |
| 5 | 540 | 514 | 450 | 807 |
| 10 | 415 | 677 | 420 | 679 |
| 15 | 385 | 1479 | 421 | 728 |
| 20 | 348 | 4481 | 495 | 700 |
| 25 | 348 | 921 | 556 | 891 |
| 30 | 348 | 4379 | 578 | 1017 |
| 35 | 714 | 1726 | − | 934 |
| 40 | 1096 | 6107 | − | 1470 |
| 45 | 1379 | 5804 | − | 1342 |

Table 2 HIC(15) by position according to TTF(Rear)

| | Position | | | |
|---|---|---|---|---|
| TTF | Rear 0° | Rear 12.5° | Rear −12.5° | Rear 25° |
| 0 | 315 | 1363 | 384 | 661 |
| 5 | 407 | 1326 | 301 | 681 |
| 10 | 418 | 2176 | 424 | 701 |
| 15 | 395 | 1074 | 794 | 798 |
| 20 | 392 | 1658 | 775 | 877 |
| 25 | 451 | 1655 | 961 | 941 |
| 30 | 545 | 1267 | 844 | 1094 |
| 35 | 411 | 786 | 809 | 1053 |
| 40 | 442 | 743 | 806 | 1223 |
| 45 | 411 | 1046 | 806 | 997 |

Table 3에서도 마찬가지로 0도의 각도에서 가장 적은 상해치가 발생하지만 15ms 이후의 TTF에서는 급격하게 상해치가 높게 발생하는 것을 알 수 있다. 12.5도에서는 0ms에서 터지면 상해치가 낮게 나오는 것을 확인할 수 있으며, 그 외의 시간대에서는 강한 상해치가 발생하는 것을 알 수 있다. −12.5도에서는 15ms 까지 상해치가 적게 나오나 20ms에서는 에어백이 오히려 더미의 머리를 강타하는 상황이 발생하면서 급격하게 상해치가 높게

나오는 것을 알 수 있다. 25도에서는 전체적으로 높은 상해치가 발생하며, Rear포지션과 마찬가지로 에어백의 효과가 다른 각도에 비해 없으며 높은 상해치가 발생하는 것을 알 수 있다.

Table 3 HIC(15) by position according to TTF(RearMost)

| | Position | | | |
|---|---|---|---|---|
| TTF | Rear Most 0° | Rear Most 12.5° | Rear Most −12.5° | Rear Most 25° |
| 0 | 354 | 958 | 421 | 917 |
| 5 | 315 | 2386 | 383 | 950 |
| 10 | 370 | 3765 | 343 | 962 |
| 15 | 443 | 2675 | 572 | 1029 |
| 20 | 812 | 3578 | 1068 | 1058 |
| 25 | 665 | 1097 | 1920 | 1074 |
| 30 | 854 | 1267 | 2302 | 993 |
| 35 | 1110 | 1452 | 2358 | 1027 |
| 40 | 1685 | 1140 | 2358 | 1148 |
| 45 | 1557 | 998 | 2352 | 1175 |

### 3.1. 5th Female HybridⅢ 상해치 결과

Table 4에서 보면 0도에서는 10ms에서부터 급격하게 상해치가 높게 나오는 것을 확인할 수 있다. 12.5도에서는 0ms에서 가장 적은 상해치가 나오는 것을 알 수 있으며 -12.5도에서는 10ms 이상에서부터 급격하게 상해치가 높게 나오는 것을 알 수 있다. 25도의 포지션에서는 에어백과의 충돌이 없었으나 짧은 해석 시간으로 인해 더미의 전체적인 거동이 다 연출되지 못해 낮은 상해치가 기록되는 것을 알 수 있다.

Table 5에서는 0도에서는 5ms 이후부터 급격하게 머리상해치가 높게 발생하는 것을 알 수 있다. 12.5도에서는 10ms에서 가장 적은 머리상해치를 확인 할 수 있으며, 점차적으로 늦은 TTF 타임일수록 높은 머리상해치가 발생한다. −12.5도에서는 10ms까지 적은 상해 정도가 발생하고 있으나, 15ms부터 머리상해치가 매우 높게 나오는 것을 확인할 수 있다.

Table 5 HIC(15) by position according to TTF(RearMid)

| | Position | | | |
|---|---|---|---|---|
| TTF | RearMid 0° | RearMid 12.5° | RearMid −12.5° | RearMid 25° |
| 0 | 495 | 853 | 256 | 278 |
| 5 | 502 | 804 | 248 | 280 |
| 10 | 934 | 686 | 501 | 274 |
| 15 | 756 | 1201 | 772 | 285 |
| 20 | 1230 | 1599 | 1344 | 272 |
| 25 | 1235 | 1903 | 4003 | 275 |
| 30 | 1578 | 2530 | 9997 | 276 |
| 35 | 1599 | 3356 | 11339 | 268 |
| 40 | 2125 | 3585 | 11292 | 253 |
| 45 | 3425 | 5112 | 11292 | 246 |

Table 6에서도 마찬가지로 25도에서 가장 적은 상해치가 발생 하고 0도에서는 15ms 이후부터 급격하게 머

Table 4 HIC(15) by position according to TTF(Mid)

| | Position | | | |
|---|---|---|---|---|
| TTF | Mid 0° | Mid 12.5° | Mid −12.5° | Mid 25° |
| 0 | 225 | 613 | 394 | 379 |
| 5 | 365 | 833 | 428 | 379 |
| 10 | 750 | 774 | 618 | 379 |
| 15 | 853 | 1006 | 846 | 378 |
| 20 | 1110 | 1195 | 1704 | 438 |
| 25 | 1152 | 1715 | 2119 | 399 |
| 30 | 2352 | 2343 | 2056 | 390 |
| 35 | 3752 | 2651 | 2056 | 400 |
| 40 | 4452 | 3758 | 2056 | 368 |
| 45 | 5520 | 28145 | 2056 | 292 |

Table 6 HIC(15) by position according to TTF(Rear)

| | Position | | | |
|---|---|---|---|---|
| TTF | Rear 0° | Rear 12.5° | Rear −12.5° | Rear 25° |
| 0 | 386 | 1136 | 226 | 254 |
| 5 | 512 | 1087 | 325 | 256 |
| 10 | 530 | 1020 | 487 | 254 |
| 15 | 887 | 1098 | 536 | 255 |
| 20 | 952 | 1484 | 671 | 250 |
| 25 | 1177 | 2381 | 6099 | 251 |
| 30 | 1120 | 2911 | 8546 | 248 |
| 35 | 1569 | 3371 | 21143 | 247 |
| 40 | 2325 | 4507 | 25661 | 245 |
| 45 | 10217 | 2814 | 27098 | 246 |

리상해치가 높게 발생하는 것을 알 수 있다. 12.5도에서는 전체적으로 높은 머리상해치가 발생한다. −12.5도에서는 20ms 까지 적은 상해 정도가 발생하고 있으나, 25ms부터 머리상해치가 매우 높게 나오는 것을 확인할 수 있다.

Table 7에서는 0도에서는 25ms를 기준으로 급격하게 높은 머리상해치가 발생하는 것을 알 수 있으며, 12.5도에서는 전체적으로 높은 머리상해치가 발생한다. −12.5도에서는 25ms부터 머리상해치가 매우 높게 나오는 것을 확인할 수 있다.

Table 7 HIC(15) by position according to TTF(RearMost)

| | Position | | | |
|---|---|---|---|---|
| TTF | Rear Most 0° | Rear Most 12.5° | Rear Most −12.5° | Rear Most 25° |
| 0 | 491 | 1105 | 250 | 252 |
| 5 | 511 | 1012 | 253 | 251 |
| 10 | 486 | 1262 | 450 | 247 |
| 15 | 565 | 1395 | 644 | 248 |
| 20 | 668 | 1115 | 646 | 243 |
| 25 | 859 | 2268 | 792 | 246 |
| 30 | 1040 | 2189 | 1888 | 245 |
| 35 | 1096 | 2032 | 14491 | 248 |
| 40 | 1092 | 3835 | 22970 | 249 |
| 45 | 1450 | 4986 | 26459 | 249 |

## 4. 제한조건 및 한계점

본 연구에서는 승객의 충돌 직전의 반응인 자세의 이동 등 행동변화는 고려하지 않았으며, 프리텐셔너의 작동으로 인한 착석 자세의 변화 또한 고려하지 않았다. 짧은 해석시간으로 인해 여성 승객의 경우 25도에서 충분한 거동이 표현되지 못하여 머리상해치의 값이 온전치 못한 값이 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구는 에어백의 전개시간(TTF)에 따른 승객의 시트 위치와 승객의 착석 각도에 따라 상해 도를 파악하였으며, 승객의 TTF가 승객 상해에 영향을 많이 주는 것을 확인 할 수 있으며, 남성과 여성의 상해치의 양상이 다르게 나타남을 확인할 수 있다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 승객의 시트 슬라이드 위치보다는 승객의 착석 각도에 따라 상해가 다르게 나타나는 것을 확인 할 수 있으며, TTF의 변화에 따라 다른 양상의 상해치가 발생하는 것을 확인할 수 있다.
2) 50$^{th}$ male HybridIII Dummy의 경우 전체적으로 0도의 착석 각도에서 가장 적은 상해치가 발생하는 것을 확인 할 수 있으며, 10ms의 TTF에서 평균적으로 적은 상해치가 발생하는 것을 알 수 있다.
3) 5$^{th}$ Female HybridIII Dummy의 경우 전체적으로 −12.5도의 착석 각도에서 가장 적은 상해치가 발생하는 것을 확인 할 수 있으나, TTF의 값이 0ms~15ms 일 때만 적은 상해치가 발생하며 그 이후의 시간에서 에어백이 전개된다면 오히려 다른 자세보다 더욱 높은 상해치가 발생하는 것을 알 수 있다.
4) 제한된 해석시간으로 인해 여성더미의 25도의 각도에서는 전체적인 거동이 다 연출되지 못해 낮은 상해치가 기록 되는 것을 알 수 있으며, 추후 더욱 높은 각도에서 승객 거동을 확인할 때에는 해석시간을 늘려주어야 한다.
5) TTF가 승객의 착석각도에 따라 어느 한 순간부터 급격하게 상해치가 높아짐에 따라 더욱 다양한 각도에 대해서 연구를 진행하여 다양한 착석자세에도 승객을 보호할 수 있어야 한다.

## 후 기

본 연구는 한국기술교육대학교의 지원을 받아 이루어졌음에 감사드립니다.

## 참고문헌

(1) Sungyon Cho, 2013, Future Direction of Designing ADAS from an User Perspectives.
(2) Changki Son, 2019, A Study of Injury Mitigation for Automated Driving Vehicle's Abnormal Driver Seating Position on the Frontal Impact.
(3) Sungrae Kim, 2018, Development of a Pre-active Safety Seat for the Out-of-position Occupant

Injury Mitigation.
(4) http://www.nhtsa.gov
(5) Seohong Kim, 2003, The Optimum Performance of Out-of-position Occupant Protection in Driver Airbag deployment.
(6) Jiyang Park, 2018, Injuries Analysis and Interpretation of Standard Age and Sex in KIDAS Accident Statistics.
(7) http://www.kncap.org
(8) Accord, NHTSA, FEM report.
(9) MADYMO Utilities Manual.
(10) Jiyang Rark, 2018, Analysis of Driver Injuries Caused by Frontal Impact During Abnormal Driver Position.