

감정연구 보고서(추가 감정3)

LOT.	2405-LCO강릉-033강릉-016-PBS014R3
제출일자	2024년 5월 15일

실험 결과 보고(원고)



법 과 학 기 술 연 구 소
Forensic Science & Technology Institute

(주)PNST <http://www.pnst.kr>

T. (031) 817-8833 F. (02) 6280-2233 ip3458@gmail.com
경기도 고양특례시 덕양구 은빛로 45 화정꽃무리빌딩 302-2호

제 출 문

- 사건 번호 : 2023 가합 30051 손해배상(자)
- 원 고 : 최애숙 외 2명
- 피 고 : KG모빌리티 주식회사
- 감정 목적 : 이 사건 자동차와 동일한 모델 차량으로 실차 실험 자료 확인

위 사건에 대해 감정촉탁을 받아 관련 실차 실험을 한 후 그 결과를 본 보고서로 작성하여 제출합니다.

박 승 범 (물리학박사, 도로교통사고감정사)

서명 : SeungBum Park

법 과학 기술 연구 소 장



목 차

1. 보완감정의 목적 및 감정 사항(보완감정 신청서 인용)

1.1 보완감정의 목적	4
1.2 보완감정 사항	5

2. 실험 사항

2.1 실험 개요	5
2.2 실험 방법(계획) 및 목적 사항	5
2.3 주행 데이터 기록	7

3. 결과 분석

3.1 결과 요약	8
3.2 고찰 사항	10

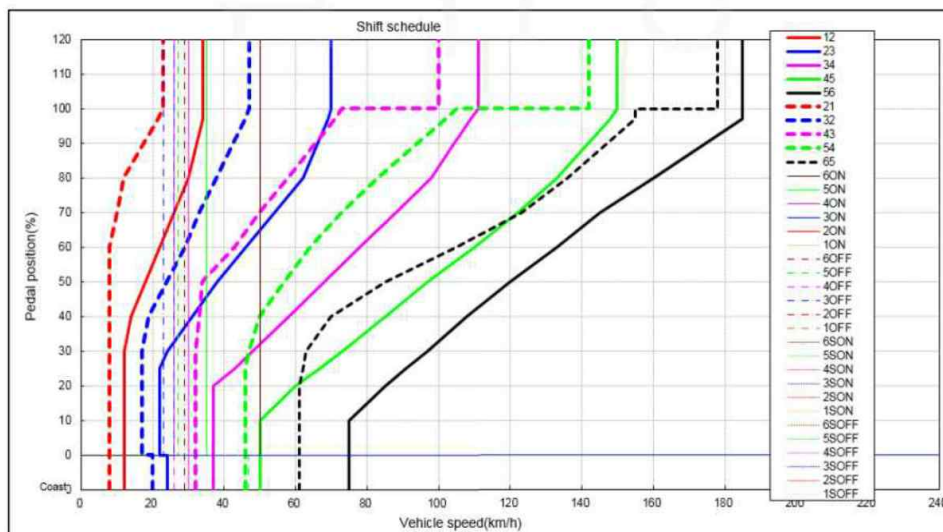
1

보완감정의 목적 및 감정 사항[보완감정 신청서 인용]

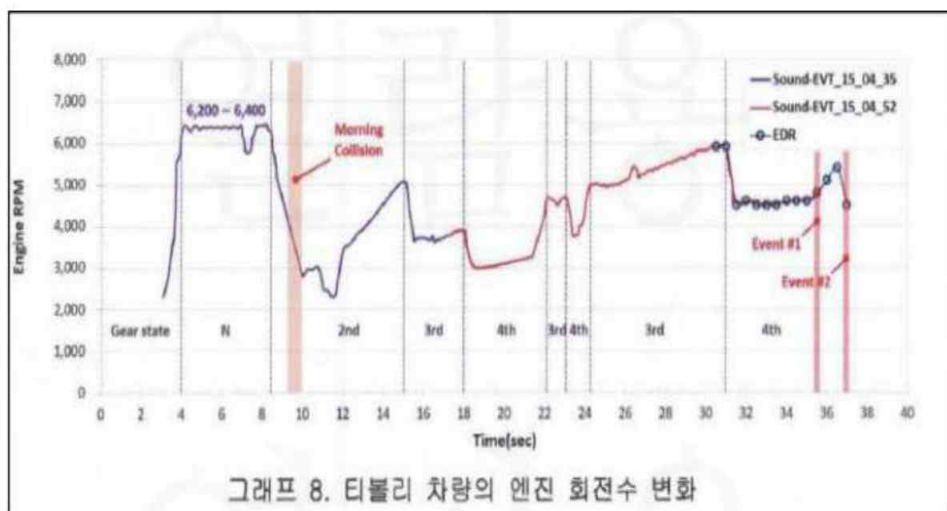
1.1 보완감정의 목적

이 사건 급발진사고에서 전개된 주행 상황과 유사한 주행 조건에서 이 사건 자동차와 동일한 모델인 티볼리 에어 차량으로 실시하는 실차 실험을 통해 아래와 같은 (i) 티볼리 에어의 변속 패턴 설계자료와 (ii) 엔진 회전수 변화와 변속단수 변화를 분석한 국립과학수사연구원의 감정서의 타당성을 검증하기 위하여

[첨부자료 2. 티볼리 에어 변속 패턴]



[첨부자료 1. 국립과학수사연구원 감정서 37쪽 중 발췌]



그래프 8. 티볼리 차량의 엔진 회전수 변화

1.2 보완감정사항

피고가 제공하는 주행 중인 차량의 주행속도, RPM, 변속단수 등 주행데이터가 0.1초(100ms) 단위로 저장되고 스크린 상으로 표출되어 실시간 촬영이 가능한 진단 장비를 장착하여 이 사건 급발진사고와 유사한 주행조건에서 원고들이 제공하는 이 사건 자동차와 동일한 모델인 티볼리 에어 차량을 주행하면서 획득한 주행데이터에 기하여 (i) 티볼리 에어의 변속 패턴 설계 자료와 (ii) 엔진 회전수 변화와 변속단수 변화를 분석한 국립과학수사연구원의 감정서의 분석이 타당한지를 확인

2 실험 사항

2.1 실험 개요

- 일시 : 2024. 4. 19. 13:00~15:30
- 장소 : 강릉시 회산로 346 앞 사고 발생 도로
- 참여 : 원고 및 대리인(하중선 변호사), 피고 대리인(유병수 변호사) 및 피고 회사 주재영 책임 외 다수, 감정인, 실험차량 운전자(김상권 카레이서), 외 각 언론사 기자 30여명 정도
- 차량 통제 및 교통정리 : 강릉경찰서 교통과 및 모범운전자회
- 실험 차량 : 티볼리 에어 2018년 식(주행거리 약 44,000km),
원동기형식 173910

2.2 실험 방법(계획) 및 목적 사항

- 차량주행 실험은 전문운전자만 탑승하여 운전하고, 차량 자체적으로 기록되는 각종 주행관련 기록들은 피고회사의 컴퓨터 프로그램을 통해서 확보하며, 각종

방송사에서 차량 내부에 카메라를 설치하여 보완적 영상으로 활용함.

■ 실차 실험 1. 전 구간 가속페달 최대작동 상태로 140km/h 도달까지 주행

- 최대가속 주행상태에의 시간추이에 따른 RPM 변화 및 속도변화에 대해 사고차량 주행 분석 결과(국립과학수사연구원의 감정서)와의 비교를 통해 실험 및 분석의 타당성 검토를 위함

■ 실차 실험 2. 주행실험이 가능한 구간의 거리상 부분적으로 나눠서 주행 실험

- (1) 40km/h 도달 시 최대가속 상태에서 RPM 6300 2-3초 정도 유지 주행
 - 모닝과의 추돌 직전 상황을 비교하기 위해 40km/h에서 RPM 및 속도변화, 브레이크 작동 여부 등의 실험결과와 비교하기 위함.
- (2) 60km/h 도달 시 최대가속 상태에서 5초 정도 유지 주행
 - 모닝과의 추돌 이후 상황을 비교하기 위함.
- (3) 110km/h 도달 시 최대가속 상태로 140km/h까지 속도를 증가시켜 주행
 - 모닝 추돌이후 100km/h 도달이 후 상황을 비교분석하기 위함.

■ 실차 주행 실험상의 문제점

- 사고 차량이 모닝 추돌이후 도로를 주행하며 주행기록을 남겼고, 그 기록의 부분적 결과들은 운전자의 의지 또는 인위적인 조작으로 형성될 수 없는 것으로 의심되는 것이기에 최대한 사고 장소 도로를 주행하며 실험결과를 확인하려 했던 것인데, 실험 설계한 주행경로 뒷부분에 도로 노면의 불규칙성으로 인해 고속 주행에서의 사고 위험성이 있어 실험적으로 속도로 높이는 데는 한계가 있었음.
- 대안적 방법으로 실험차량이 안전하게 출발 가능한 출발지점을 앞으로 당겨 거리를 확보하는 추가적 실험을 진행했음.

2.3 주행 데이터 기록

- 결과분석을 위한 실험 데이터는 실험직후 차량으로부터 추출한 기록 데이터를 피고 회사로부터 제공받아 이를 분석함.
- 제공받은 기록 데이터는 기록상 오류(가능 범위를 벗어난 값)는 없는 것으로 판단되고, 티볼리 에어의 차량동력학적 범위내의 값들로 분석됨.
- 제공받은 자료의 주행기록 항목은 RPM(분당 엔진회전수), 변속 단수, 속도, 가속페달 작동 %값임
- 주행기록 항목에 따라 신호발생 주기와 아주 미세한 시간적 의미로는 신호발생 시기가 각기 다르므로 항목 별로 실제 기록되는 초당 시간 간격(샘플링 Hz)은 차이가 있음.
- 즉, RPM, 변속 단수, 가속페달은 1/000초(1ms) 단위에서 기록되고, 속도는 1/00초(10ms) 단위에서 기록된 것임. (원고가 제시한 감정보완 실험 절차상의 차량기록 진단장비는 충족함 : 피고가 제공하는 주행 중인 차량의 주행속도, RPM, 변속단수 등 주행데이터가 0.1초(100ms) 단위로 저장되고 스크린상으로 표출되어 실시간 촬영이 가능한 진단 장비를 장착)



<그림 1. TCU, ECU 실시간 주행 정보 → 컴퓨터 → 모니터 표출 모습>

3

결과 분석

3.1 결과 요약

가. 티볼리 에어의 변속 패턴 설계 자료와 실험 결과의 정합성

- 제시된 티볼리 에어의 변속패턴 설계 자료와 실차실험 주행기록의 결과를 분석해 볼 때, 단편적인 실험 결과 자료만 볼 때는 실험 결과가 설계 자료에 일치한다고 보기 어려운 것으로 추정됨.

<표. 가속페달 작동정도에 따른 실험결과와 변속 패턴 설계 자료의 비교>

실험	주행 실험 결과			변속 패턴 설계 자료와 비교	
	기어 변속 상태	가속페달 %	속도 (km/h)	예측속도 (km/h)	비고
(1)	4→2	100	43	47	4→2는 없고, 3→2 다소 차이 있음
(1)	2→3	100	77	70	다소 차이
(2)	<u>4→2</u>	<u>100</u>	<u>46</u>	<u>47</u>	<u>4→2는 없고, 3→2 일치</u>
(2)	2→3	100	76	70	다소 차이
(3)	<u>3→4</u>	<u>28</u>	<u>101</u>	<u>47</u>	<u>완전 다름</u>
(3)	<u>4→5</u>	<u>30</u>	<u>103</u>	<u>74</u>	<u>완전 다름</u>
(3)	<u>6→5</u>	<u>100</u>	<u>104</u>	<u>155</u>	<u>완전 다름</u>
(3)	<u>5→6</u>	<u>100</u>	<u>104</u>	<u>185</u>	<u>완전 다름</u>
(3)	<u>5→4</u>	<u>100</u>	<u>105</u>	<u>105<</u>	<u>일치</u>
(3)	2→3	100	76	69	다소 차이

나. 엔진회전수 및 변속 단수의 변화분석 자료와 실험 결과의 정합성

- 모닝 충돌 직전 상황 (40km/h내외의 높은 RPM)에서는 실험 분석의 경우 변속 기어의 N상태가 아닌 상황에서 RPM 증가와 속도 증가 패턴을 보이고 있으나, 국립과학수사연구원의 감정서에서는 변속기어 N상태에서 RPM 및 속도가 일정한 패턴을 제시하고 있음. 따라서, 실험 내용과 국립과학수사연구원의 감정서의

분석 내용은 서로 전혀 다른 패턴을 보이는데 자동차 동력학적 측면에서 엔진으로부터의 구동력이 바퀴 전달되는 원리를 고려하더라도 패턴의 차이는 당연한 것임.

- 모닝 충돌 이후 상황(40km/h 내외에서 가속페달 100%)에서는 실험 분석의 경우 44km/h에서 120km/h 도달하는데 약 18초 정도 소요되었고, 변속 기어 상태는 4→2→3→4 패턴을 보이고 있음. 참고적으로 분석한 2회 실험에서의 경우 가속페달을 작동한 주행시간 전체 20.5초(40km/h에서 125km/h 도달) 가운데 약 5초 정도를 가속페달 60% 정도로 작동했을 때 변속기어 상태는 2→3→[4→5→6→5]→4([]은 짧은 시간)) 패턴을 보이고 있음. 국립과학수사연구원의 감정서에서는 모닝 충돌 후 약 40km/h 정도에서 116km/h 도달하는데 약 24초 소요되었고, 변속기어 상태는 2→3→4→[3→4]→3→4([]은 짧은 시간) 패턴을 보이고 있음. 따라서, 가속페달과 변속기어 주행 형태를 볼 때는 가속페달 100%로 주행할 경우에는 국립과학수사연구원의 감정서 내용과 같은 변속기어 패턴이 발생되기 어려운 것으로 추정됨.
- 이건 사고차량이 가속페달 100% 상태의 110km/h에서 계속 주행해 5초 후 도달 가능 속도에 대해 실험 결과는 124km/h(14km/h 속도변화)에 이르는 것으로 확인되었고, 디지털 자료가 케이블 이상으로 저장되지 않은 가속 실험에서는 계기판의 속도계로 속도변화를 확인해보면 5초 간 주행은 110km/h에서 130km/h 내외(20km/h 정도 속도변화), 120km/h에서는 138km/h(18km/h 정도 속도변화) 내외의 속도 변화가 있는 것으로 추정됨.

--

(여백)

3.2 고찰 사항

- 실험 계획상으로는 주행조건을 구분해서 주행기록을 확보하고 국립과학수사연구소의 감정서 내용과 비교하고자 하였으나, 실제 주행실험에서는 정밀하게 차량 주행을 제어하는 것에 한계가 있었음.
- 주행 안전성이 최대한 확보된 전문 주행시설이 있는 곳과 달리 교통통제는 이뤄지고 있으나 도로환경이 고속주행에서 안전성을 확보하기가 충분하지 않아 실험에 한계가 있었던 것으로 판단됨.
- 총 4회의 주행 실험을 했으나, 전 구간 최대가속 상태를 유지하며 주행한 실험의 경우 주행기록 데이터를 차량으로부터 전송받는 케이블 상에 문제가 발생하여 기록되지 않았고, 이로 인해 총 실험 3회의 자료를 확보할 수 있었음.
- 실험 시에 계기판의 RPM과 속도계를 촬영한 영상을 참고해보면 계기판 최대 속도 약 138km/h, RPM 5900 정도까지 도달했던 것으로 추정되나, 계기판 아날로그 지시눈금의 오차와 속도계 눈금의 촬영사각지대, 가속페달 작동과 변속기어 상태 등을 알 수 없다는 점에서 영상만으로는 분석이 불가능한 상태임.



<그림 2. 디지털 데이터 확보에 실패한 실험 영상 화면 : 출발 시점>



<그림 3. 출발시점에서 약 17.7초 후에
계기판의 RPM이 약 5900, 속도는 120km/h 정도로 추정됨>

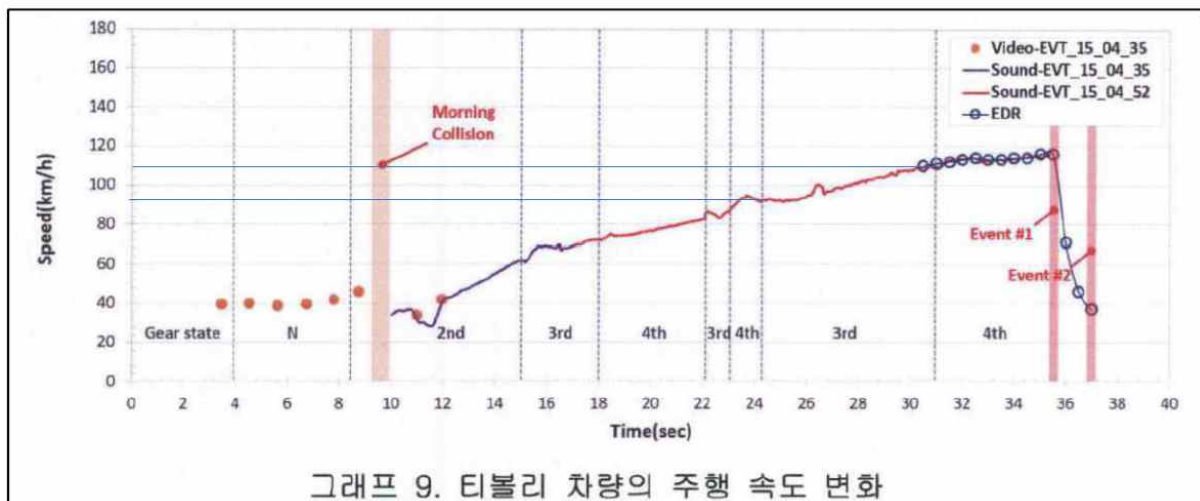


그림 4. 출발시점에서 약 23.5초 후에
계기판의 RPM이 약 5000, 속도는 140km/h 정도로 추정됨>

- 확보된 주행기록 데이터는 (1) 모닝과의 충돌직전 상황을 고려한 약 40km/h 주행상황에서 가속페달을 100% 작동시켜 주행한 것과 (2) 모닝과의 충돌 이후 약 40km/h 내외에서 가속페달을 100% 작동시켜 약 100km/h 이상의 속도로 주행한 것, (3) 정지 상태에서 최대로 가속하여 최종위치에서의 충돌직전 상황을 고려한 가속페달 100% 작동으로 125km/h 주행한 세 개임.
- 주행실험 기록과의 비교대상 자료는 국립과학수사연구원의 감정서상 <그래프 8>과 <그래프 9>로 제시한 것임.



그래프 8. 티볼리 차량의 엔진 회전수 변화

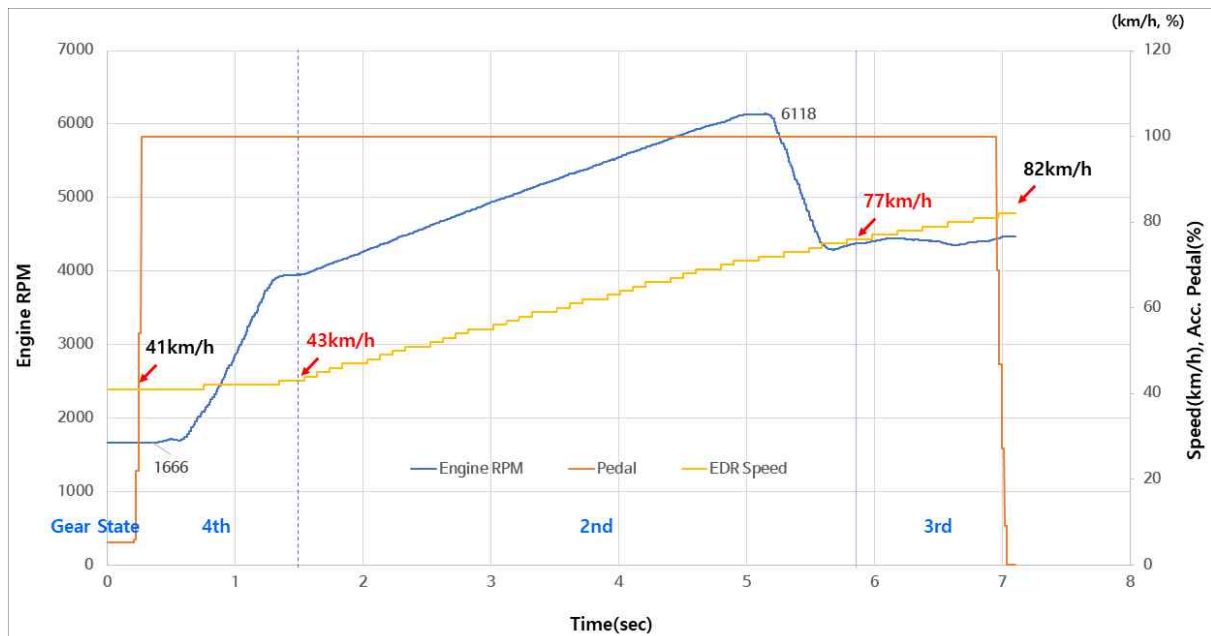


그래프 9. 티볼리 차량의 주행 속도 변화

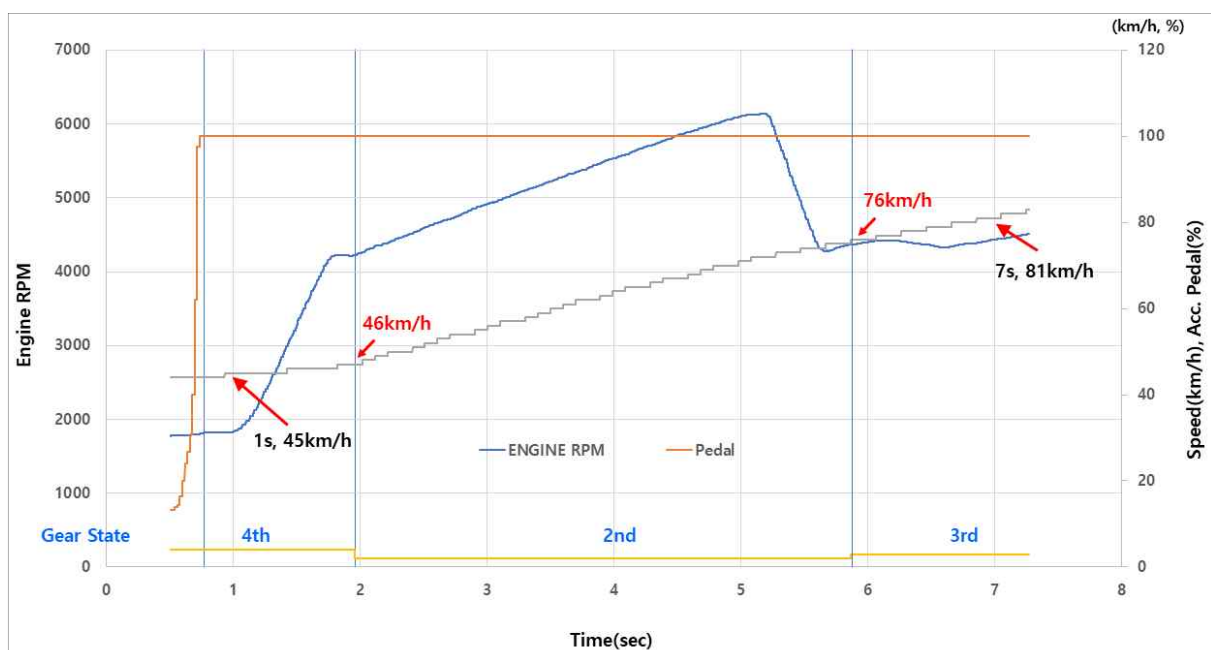
--

(1) 약 40km/h 주행상황에서 가속페달을 100% 작동시켜 주행

- 도로를 41km/h로 주행하다 순간적으로 가속페달을 100% 작동했을 때, RPM이 6100 정도까지 증가하다 변속되며 4000 정도까지 조정되는 것으로 확인됨. 모닝 추돌 이후 상황을 고려한 유사 실험도 같은 결과임을 보여줌<그림 7>.



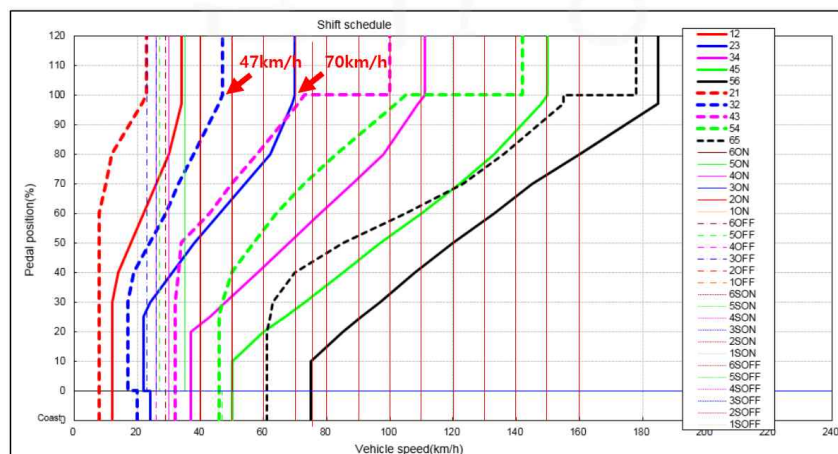
<그림 6. 40km/h 주행 상황에서 7초 정도 가속페달을 100% 작동시킨 경우의 주행 그래프>



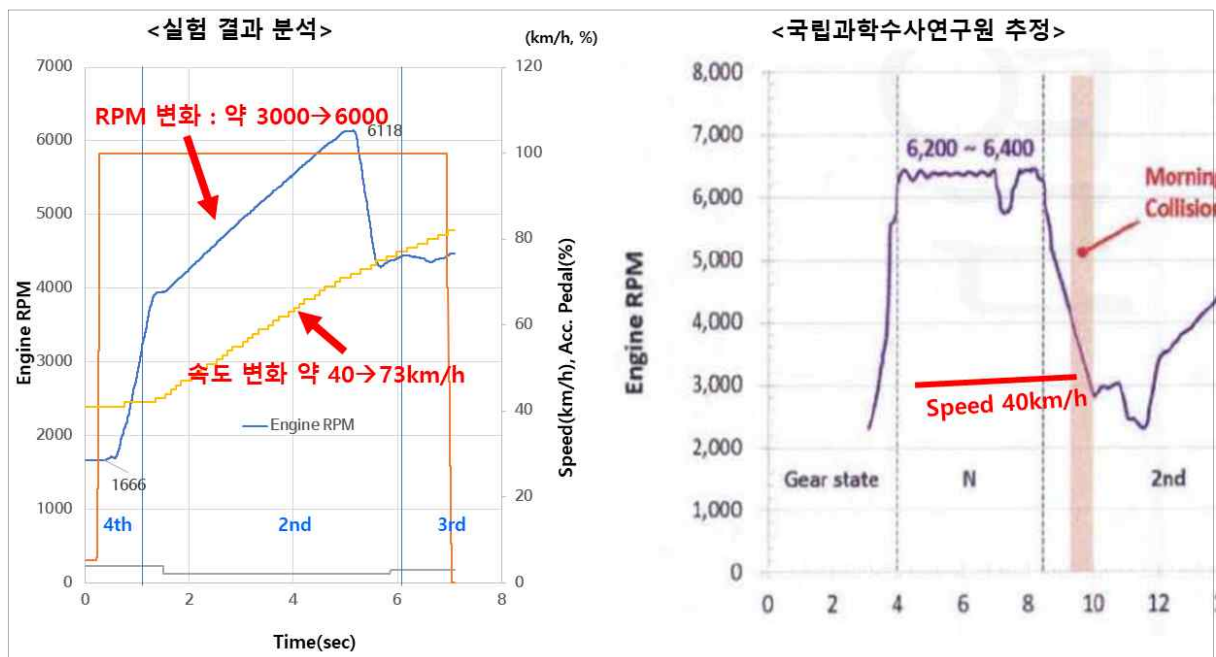
<그림 7. 40km/h에서 110km/h까지 가속페달을 100% 작동시킨 경우의 주행 앞부분 그래프>

- 위 <그림 6>과 <그림 7>의 그래프는 운전자에게 40km/h 정도에서 가속페달을 최대로 작동하며 한번은 7초까지 유지하고, 다른 한번은 110km/h까지 지속적으로 작동했을 때 조건이므로 7초 정도까지는 사실상 동일 조건의 반복실험이라 할 수 있음.
- 위 실험 결과를 보면 두 번의 실험에서 변속 기어의 변화가 거의 일치하고 있음이 확인됨. 즉, 약 7초의 진행과정에서 변속 기어는 4→2→3 형태로 이루어지고 있음이 확인됨.
- 40~45km/h 정도에서 4단 기어상태를 유지하다 가속페달을 100% 작동시켰을 때 기어 4단에서 2단 상태로 변화가 발생되었는데, 일반적인 킥다운(kick down) 현상 시에 나타나는 한 단계 아래로의 기어 변화보다 다소 급격한 기어 상태의 변화가 발생됨.
- 기어상태 변화가 발생된 시점에서의 속도는 4→2로는 43km/h, 46km/h이고, 2→3에서는 77km/h, 76km/h로 매우 유사함.
- 이 때의 상태를 변속패턴 설계 자료에서 확인해보면 변속 기어의 4→2로의 변속은 확인되지 않으며, 궁극적 변속으로 추정되는 3→2 자료와는 어느 정도 잘 일치하는 것으로 추정됨.
- 반면, 2→3에서의 77km/h는 변속 패턴 설계 자료상으로는 70km/h로 다소 차이가 있는 것으로 확인됨.

[첨부자료 2. 티볼리 에어 변속 패턴]



- 국립과학수사연구원의 분석내용과 단순 비교하기는 어려우나 실험에서처럼 40km/h 정도에서 가속페달을 최대로 작동할 경우 구동바퀴에 동력이 전달되는 급격한 RPM 증가와 함께 선형적인 속도 증가 패턴을 보일 것으로 추정되고, 실험에서도 잘 보여주고 있음.
- 국립과학수사연구원의 감정서상에 제시된 RPM 및 속도 증가 패턴은 RPM과 속도의 변화가 거의 없는 상태에서 가능한 경우로 사실관계 여부를 떠나 바퀴에 엔진 동력이 차단되는 기어 N 상태에서 가능한 것으로 추정됨.

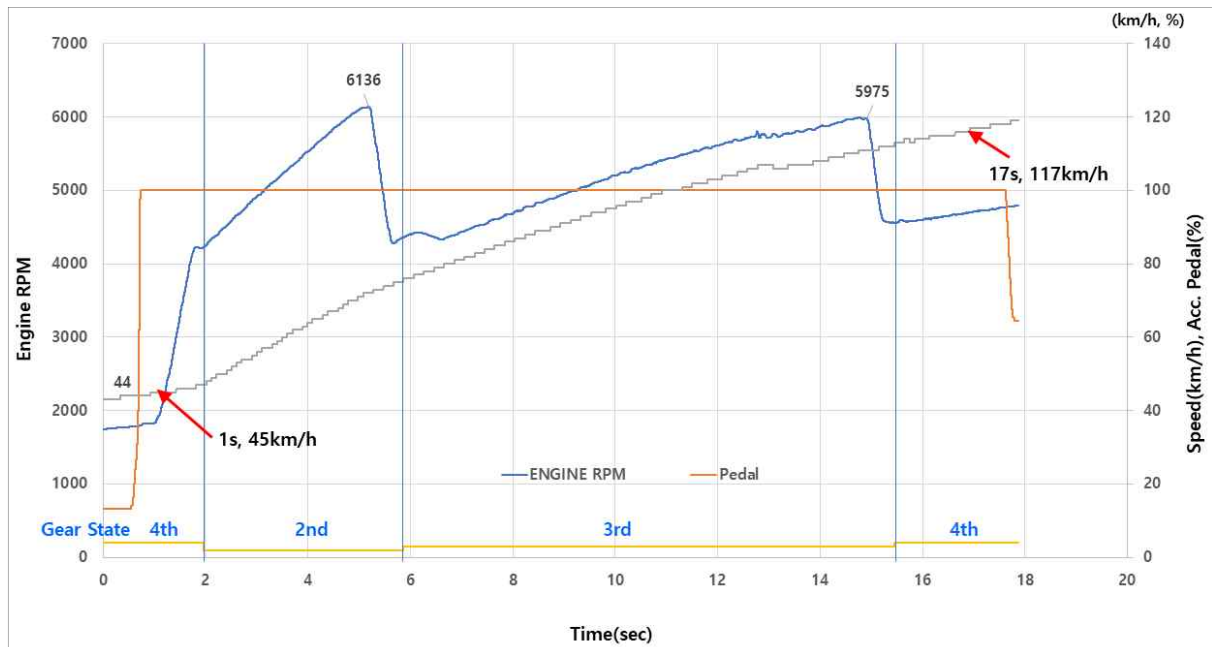


<그림 9. 실험 결과와 국립과학수사연구원 감정서 해당 내용 비교 분석>

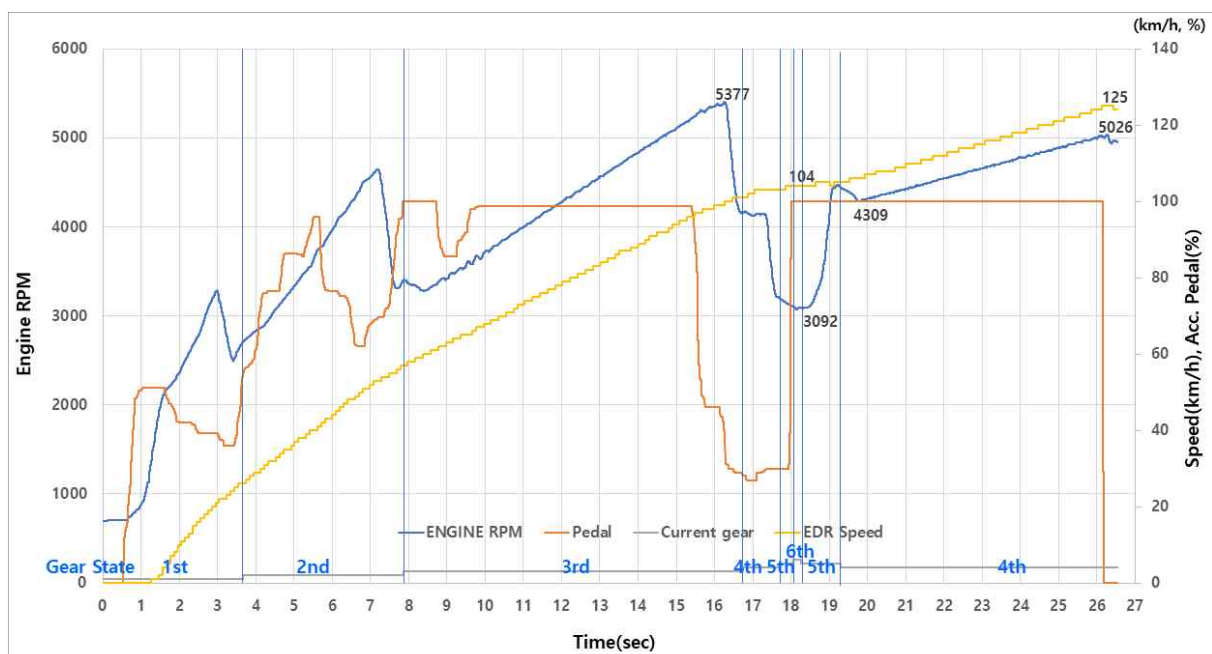
(2) 40km/h 내외에서 가속페달의 100% 상태로 약 100km/h 이상의 속도로 주행

- 모닝과의 충돌 이후 주행상황을 고려한 40km/h 내외에서 가속페달을 100%로 작동시켜 주행한 실험에서는 44km/h에서 120km/h 도달하는데 약 18초 정도 소요되었고, 변속 기어 상태는 4→2→3→4 패턴을 보이고 있음.
- 참고적으로 분석한 2회 실험에서의 경우 가속페달을 100%로 작동조건에서 주행시간 전체 20.5초(40km/h에서 125km/h 도달) 가운데 약 5초 정도를 가속페달 60% 정도로 작동했을 때 변속기어 상태는 2→3→[4→5→6→5]→4([)]은 짧

은 시간) 패턴을 보이고 있음.



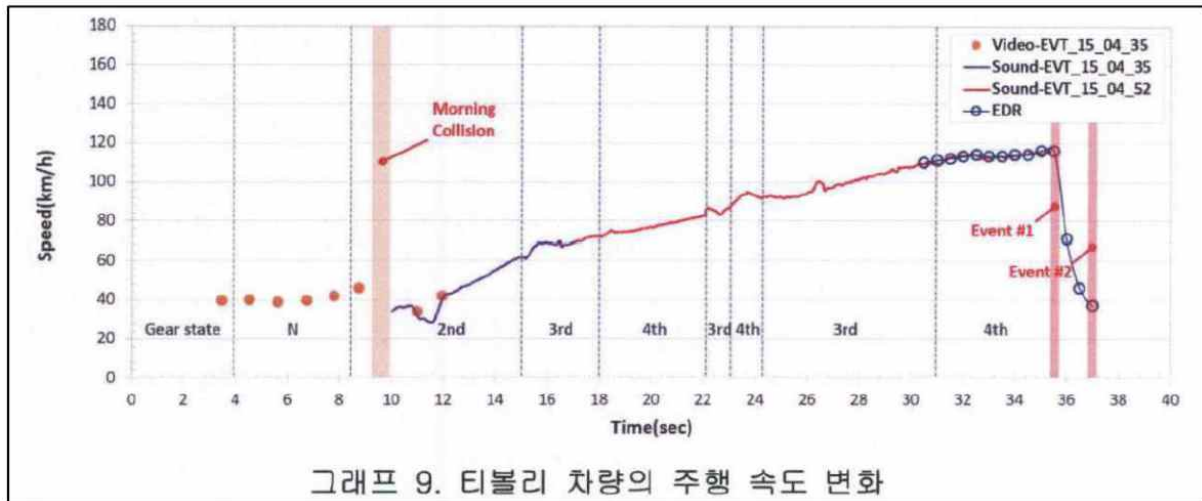
<그림 10. 모닝추돌 이후에 가속페달을 100% 작동시킨 경우의 주행 그래프>



<그림 11. 참고 분석, 정지에서 125km/h 도달까지 주행상태 그래프>

- 국립과학수사연구원의 감정서에서는 모닝 추돌 후 약 40km/h 정도에서 116km/h 도달하는데 약 24초 소요되었고, 변속기어 상태는 2→3→4→[3→4]→

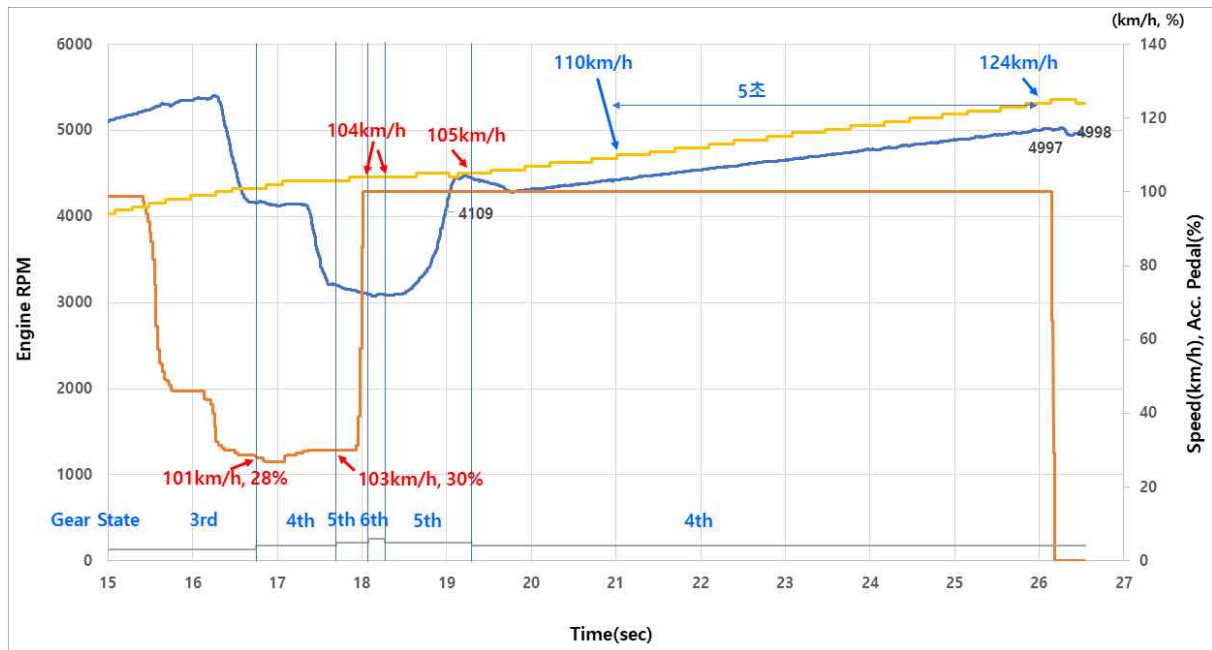
3→4([)은 짧은 시간) 패턴을 보이고 있음.



- 따라서, 가속페달과 변속기어 주행 형태를 볼 때는 가속페달 100%로 주행할 경우에는 국립과학수사연구원의 감정서 내용과 같은 변속기어 패턴이 발생되기 어려운 것으로 추정됨.

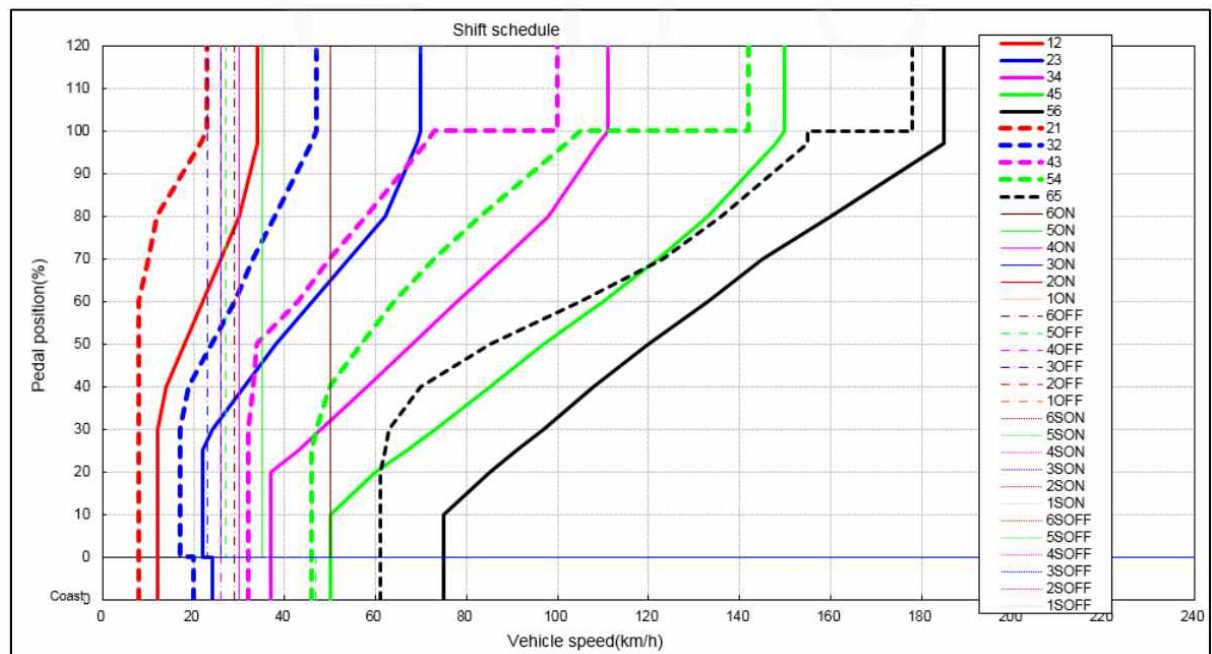
(3) 충돌직전 상황을 고려한 가속페달 100% 작동으로 125km/h 주행

- 이건 사고차량이 가속페달 100% 상태의 110km/h에서 계속 주행하였을 경우 5초 후 도달 가능 속도에 대해 실험으로 확인했을 때 124km/h(14km/h 속도변화)에 이르는 것으로 분석됨.
- 130km/h 이상 실험의 주요 실험이었던 디지털 자료가 케이블 이상으로 저장되지 않은 또 다른 가속 실험에서는 계기판의 속도계로 속도변화를 확인해보면 5초 간 주행은 110km/h에서 130km/h 내외(20km/h 정도 속도변화), 120km/h에서는 138km/h(18km/h 정도 속도변화)로의 속도 변화가 있는 것으로 추정됨.
- 한편, 100km/h 내외에서 실험 운전자가 가속페달을 조작해 100% 보다 낮춰 작동시켰을 때 변속 기어상태의 변화와 변속 패턴 설계 자료를 비교 분석해보면 실험결과와 차이가 많은 것으로 확인됨. 즉, 기어상태 변화가 발생된 시점에서의 설계 속도는 101km/h(가속페달 28%)에서 3→4일 때 47km/h 등에서 다음의 표 자료에서 볼 수 있듯 고속 주행에서는 많은 차이가 있는 것으로 확인됨.



<그림 13. 정지에서 125km/h 도달까지 주행상태 그래프의 15초 이후 모습>

[첨부자료 2. 티볼리 에어 변속 패턴]





<그림 15. 110km/h 상태에서 5초 뒤 영상 130km/h 정도임>



<그림 16. 120km/h 상태에서 5초 뒤 영상 138km/h 정도임>

<표 1. 가속페달 작동정도에 따른 실험결과와 변속 패턴 설계 자료의 비교>

실험	주행 실험 결과			변속 패턴 설계 자료와 비교	
	기어 변속 상태	가속페달 %	속도 (km/h)	예측속도 (km/h)	비고
(1)	4→2	100	43	47	4→2는 없고, 3→2 다소 차이 있음
(1)	2→3	100	77	70	다소 차이
(2)	<u>4→2</u>	<u>100</u>	<u>46</u>	<u>47</u>	<u>4→2는 없고, 3→2 일치</u>
(2)	2→3	100	76	70	다소 차이
(3)	3→4	28	101	47	완전 다름
(3)	4→5	30	103	74	완전 다름
(3)	6→5	100	104	155	완전 다름
(3)	5→6	100	104	185	완전 다름
(3)	<u>5→4</u>	<u>100</u>	<u>105</u>	<u>105<</u>	<u>일치</u>
(3)	2→3	100	76	69	다소 차이

※ 실험 결과와 패턴 설계 예측과의 속도 차(X)에 대한 구분

- 완전 다름 : $10\text{km/h} \leq X$
- 다소 차이 : $3\text{km/h} < X < 10\text{km/h}$
- 일치 : $X \leq 3\text{km/h}$

--