creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학전문석사 학위 연구보고서

의사결정트리 분석을 이용한 후방 충돌 시 탑승자 목 상해 예측에 관한 연구

2023년 2월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과 응용공학전공

곽 준 규

의사결정트리 분석을 이용한 후방 충돌 시 탑승자 목 상해 예측에 관한 연구

지도교수 박 우 진

이 프로젝트 연구보고서를 공학전문석사 학위 연구보고서로 제출함

2023년 2월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과 응용공학전공

곽 준 규

곽준규의 공학전문석사 학위 연구보고서를 인준함

2023년 2월

위 원 장 오 병 수 (인)

위 원 박 우 진 (인)

위 원 이 재 완 (인)

국문초록

자동차는 우리 삶에서 필수적인 요소이다. 우리나라의 자동차 사고 사망자 수는 매년 감소하고 있지만, OECD 국가 중 그 비율은 여전히 높으며, 안전사고를 줄이기 위한 노력은 지속적으로 필요하다. 자동차안전연구원에서는 자동차의 안전도를 제고하기 위해, 자동차 안전성능을 객관적인 수치로 확인할 수 있는 자동차안전도평가 제도를 시행하고 있다.

본 연구는 자동차안전도평가의 목 상해 안전성 평가 시험데이터를 기반으로 시험조건에 따른 결과를 예측분석 하는 연구이다. 다년간 지속되어 온 안전도평가 결과를 통해 자동차 안전에 영향을 주는 요소와 각 요소의 중요도를 확인하고자 한다. 본 연구는 그동안 수행한 저속 후방 충돌 목 상해 안전성 평가의 수집된 데이터를 사용하였으며, 선행연구를 조사를 통해 7개의 시험조건을 독립변수로 설정하였다.

분석 예측을 위한 기계학습 모델로 시각적 논리적 설명이 가능한 의사결정트리 모델을 선정하였으며, 수집한 데이터의 유형에 따라 회귀 트리 알고리즘 방법을 선정하여 분석을 수행하였다. 데이터는 무작위로 나누어 예측분석을 하였으며, 7개 중 5개의 유의미한 모델을 확인할 수 있었다.

그 결과 인체 상해에 영향을 주는 요소 중 인체모형의 머리의 위치인 머리 간격의 영향이 가장 컸으며, 다음으로 머리의 높이, 그리고 인체모형의 골반 각도 순으로 영향을 주었다. 또한, 독립변수의 하나였던 차량의 좌석 타입과 머리지지대 타입은 분석에 영향을 주지 못했다. 연구를 통해 후방 충돌 시 탑승자의 머리 위치가 중요한 변수인 점을 확인하였으며, 목 상해 안전성을 위해 차량에 탑승 시 머리를 머리지지대와 가깝게 유지하는 것이 필요하다는 것을 확인하였다.

주요어 : 자동차안전도평가, 후방 충돌, 추돌, 목 상해, 의사결정트리
학 번 : 2021-23835

목 차

제 1 장 서론 ····· 1

제 1 절 연구의 배경 및 필요성 ····· 1

1. 연구 배경 ····· 1
2. 연구 필요성 ····· 2
3. 연구 문제 및 목적 ····· 3

제 2 절 목 상해 평가 현황 ····· 5

1. 후방 충돌사고 ····· 5
2. 국내외 목 상해 안전도평가 ····· 6
3. 국내외 목 상해 안전기준 ····· 7
4. 후방 충돌용 인체모형과 지표 ····· 8

제 2 장 이론적 배경과 선행연구 고찰 ····· 10

제 1 절 이론적 배경 ····· 10

1. 이론적 배경 ····· 10

제 2 절 선행연구 고찰 ····· 11

1. 선행연구 고찰 ····· 11

제 3 장 연구의 설계 및 방법 ····· 13

제 1 절 연구절차 ····· 13

1. 연구 데이터 ····· 13
2. 시험 전 데이터 수집 ····· 13
3. 목 상해 시험 절차 ····· 15
4. 데이터 측정 장비 ····· 16

제 2 절 연구방법 ····· 17

1. 독립변수 및 종속변수 설정 ····· 17

2. 데이터 분석 ····· 17
3. 지도학습 ····· 18
4. 의사결정트리 ····· 18
5. 알고리즘 선정 ····· 19
제 3 절 연구분석 ····· 20
1. 분석방법 선정 ····· 20
2. 분석 계획 ····· 21

제 4 장 연구결과 ····· 22
제 1 절 인체 상해 예측 모델 ····· 22
1. 예측 모델 도출 ····· 22
2. 의사결정트리 분석 모델 분기점 ····· 23
3. 의사결정트리 분석 모형 ····· 25
제 2 절 인체 상해 예측 비교 ····· 32
1. 예측 성능 결과 ····· 32
2. 예측 산점도 ····· 34

제 5 장 토의 및 결론 ····· 36
제 1 절 토의 ····· 36
1. 결과 토의 ····· 36
제 2 절 결론 ····· 43
1. 연구결론 ····· 43
2. 연구한계 ····· 44

참고문헌 ····· 45
부록 ····· 47
Abstract ····· 48

표 목 차

[표 1] 후방 충돌용 인체모형(BioRid-Ⅱ) 제원 ····· 9
[표 2] 독립변수 Table ····· 14
[표 3] 종속변수 Table ····· 15
[표 4] 결과 비교표 ····· 23
[표 5] 의사결정트리 모델 분기표 ····· 24
[표 6] 국내외 주요 목 상해 평가 항목 ····· 47

그 림 목 차

[그림 1] 차대 차 사고 유형 별 통계 ····· 1
[그림 2] 연구 모형도 ····· 4
[그림 3] 후방 충돌용 인체모형(BioRid-Ⅱ) ····· 8
[그림 4] 머리 각도, 위치 ····· 14
[그림 5] 골반, 몸통 각도 ····· 14
[그림 6] 의사결정트리 모형 도식화 ····· 19
[그림 7] HCT 예측 트리모형 ····· 25
[그림 8] T1 가속도 예측 트리모형 ····· 26
[그림 9] USF 예측 트리모형 ····· 27
[그림 10] UZF 예측 트리모형 ····· 28
[그림 11] HRV 예측 트리모형 ····· 29
[그림 12] NIC 예측 트리모형 ····· 30
[그림 13] Nkm 예측 트리모형 ····· 31
[그림 14] HCT 예측 산점도 ····· 34
[그림 15] T1 가속도 산점도 ····· 34
[그림 16] USF 예측 산점도 ····· 34
[그림 17] UZF 예측 산점도 ····· 34
[그림 18] HRV 예측 산점도 ····· 35
[그림 19] NIC 예측 산점도 ····· 35
[그림 20] Nkm 예측 산점도 ····· 35

제 1 장 서론

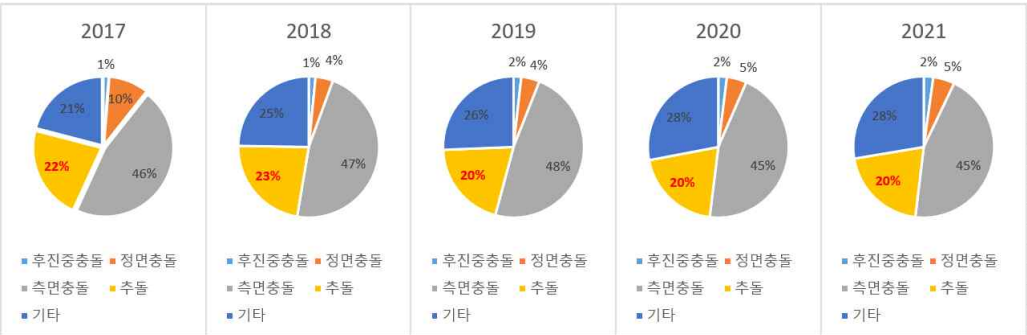
이번 장에서는 연구의 배경과 필요성, 문제를 다루며 연구 주제와 관련된 법규 안전 성능시험에 대한 현황을 소개한다.

제1절 연구의 배경 및 필요성

1. 연구 배경

자동차 기술이 발전하고 삶의 질이 향상되면서 사람들은 보편적으로 자동차를 이용하고 있다. 차량의 안전 기술의 발전에 따라 안전한 차량이 보급되고 이로 인한 사고 또한 줄어들고 있지만, 경찰청 통계자료(TAAS)의 2019년 OECD 국가교통사고 통계에 따르면, 인구 10만 명 당 사망자는 6.5명으로 OECD 36개 국가 중 27위를 차지하였으며, 여전히 사고 위험성은 높아 안전사고에 대해 경각심을 가질 필요가 있다.

자동차 사고 중에서도 2017년부터 2021년도까지 국내 통계를 확인한 결과 여러 사고의 유형이 있지만 이중 추돌사고에 대한 비율이 20% 이상을 차지하고 있어, 이에 대응한 탑승자 보호 등 안전성능에 대한 연구는 지속적으로 필요하다. [3]



[그림 1] 차대 차 사고 유형 별 통계

차량의 안전 성능을 확인하기 위해 국제적으로 자동차 충돌사고에 대한 안전성을 평가하고 있으며, 국내에도 여러 사고 상황을 가정하고 차량의 안전 성능을 확인하는 제도가 있다.

이 제도는 '자동차안전도평가'로 시험을 통해 충돌 및 사고 예방 안전성 등을 확인하며, 충돌시험은 사람과 생체 충실도가 유사한 인체모형을 사용하여 실제 차량 충돌을 통해 안전 성능을 평가한다. 시험용 인체모형에서 수집하는 데이터로 시험 차량의 충돌상황에서 탑승자가 얼마나 안전한지 인체 상해지표를 확인할 수 있으며, 이를 통해 차량의 안전 성능을 평가하는 척도로 활용한다.

2. 연구 필요성

한국교통안전공단 자동차안전연구원(이하 연구원)에서는 매년 다양한 차종의 차량에 대해 안전 성능시험을 수행하고, 그 평가 결과를 공개하는 자동차안전도평가를 제도를 운영하고 있다. 이 제도는 더욱 안전한 자동차를 확인하기 위한 시험으로 국민에게 차량별 안전 성능 정보를 제공하고, 제작사로 하여금 보다 안전한 자동차 제작을 유도하는 장치로 역할을 하고 있다. [6] 또한 연구원에서는 발전하는 차량기술에 맞춰 탑승자의 안전을 향상시키기 위해 차량의 안전 성능시험의 세부 시험설정 조건 등과 같은 항목에 대해 평가기술 기준안을 설립하면서 개선한다.

안전도평가 시험 중 이 연구에서는 다루고자 하는 '후방 충돌 목 상해 시험'은 차량좌석에 후방 충돌용 인체모형을 탑승시키고 고시된 평가 프로토콜에 따라 착석 조건을 구현하며 실제 충돌시험을 통해 안전도를 평가한다. 연구원은 안전도평가 시험을 수년간 지속해 오면서 개별 차량에

대한 안전 성능을 평가하였고, 데이터가 축적되었다. 이번 연구는 이러한 시험데이터를 활용하여 자동차 안전에 영향을 미치는 요소와 각 요소의 중요도에 대한 분석을 진행하며, 분석결과를 활용하여 더 나은 차량 안전과 평가기술 개발에 도움이 되고자 한다.

또한, 분석방법은 시간과 비용에 있어 효율적인 방법을 채택하고자 한다. 본 연구에서는 추가적인 시험을 통해 데이터를 확보하는 것이 아닌, 연구원에서 보유하고 있는 기 시행된 시험데이터를 활용하므로 비용 효율성을 확보할 수 있다. 이러한 기존 데이터 활용의 장점은 향후 시행될 시험데이터 역시 누적 데이터로 활용하여 분석의 개선에 활용할 수 있다는 점이다.

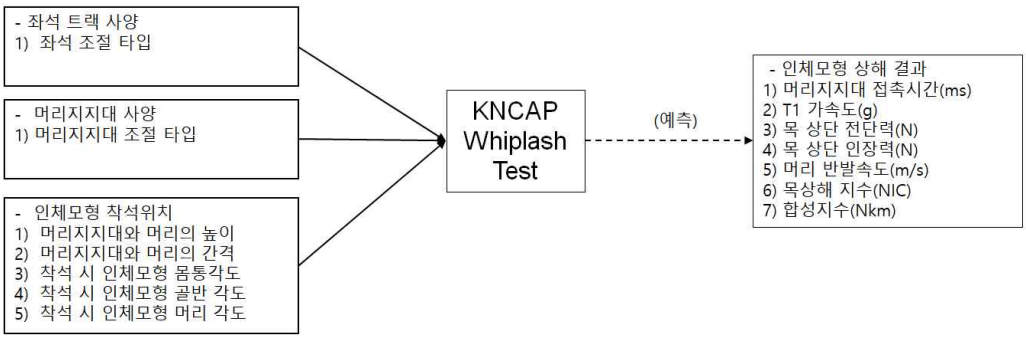
아울러, 분석결과는 쉽게 설명이 가능한 방법을 채택하였다. 이는 자동차 안전도 평가제도가 투명한 공개를 통해 국민의 알 권리를 보장하고 자동차 제작사로 하여금 보다 안전한 자동차 제작을 유도하는 장치로 역할을 하고 있기 때문이다.

3. 연구 문제 및 목적

본 연구에서는 개별차량의 정보로만 존재하는 데이터를 종합하여 후방충돌 시 인체상해에 영향을 주는 요소와 그 중요도를 분석하고자 한다.

선행연구에 따르면, 인체모형 상해 결과에 영향을 줄 수 있는 요인으로 탑승자의 자세와 허리뼈, 척추의 모양이 있다. [12] 그리고 안전도평가 데이터 중 위 요인에 영향을 줄 수 있을 거라 판단되는 좌석, 머리지지대의 사양, 그리고 좌석에 착석한 인체모형의 몸통, 골반, 머리 각도, 머

리지지대와 머리의 간격, 높이를 확인한 위치 정보를 독립변수로 설정하고 다음과 같은 연구 모형도를 구성하였다.



[그림 2] 연구 모형도

이번 연구에서는 [그림 2] 연구 모형도에서 확인할 수 있듯이, 수집된 데이터가 안전도평가 결과에 어떤 영향을 미치는지에 대한 예측분석을 수행하였다. 이러한 예측분석은 독립변수인 좌석트랙사양, 머리지지대 사양, 인체모형 착석 위치가 종속변수인 안전도평가 결과에 미치는 중요성을 파악 함으로써 더 안전한 차량 개발을 유도하기 위한 평가방법 지표 개발에 활용될 수 있다.

본 연구에서는 안전도평가결과 데이터를 통해 안전 성능 요소와 결과의 상관성을 확인할 수 있는 기계학습 방법의 하나인 의사결정트리 모델링 분석방법을 활용하고자 한다. 의사결정트리 모델을 통해 차량의 어떤 요소가 안전에 가장 큰 영향을 미치는지 종합적인 분석이 가능하며, 이미 보유하고 있는 과거 데이터를 활용할 수 있고, 분석 결과에 대해 시각적 모형을 도출할 수 있다.

제2절 목 상해 평가 현황

이번 절에서는 연구에서 다루고 있는 후방 충돌사고 상황에 대한 요약과 법규시험의 두 종류인 자동차안전도 평가제도와 자동차안전기준을 소개하고 그 의미의 차이를 명확하게 하고자 한다.

1. 후방 충돌사고

후방 충돌사고는 앞선 자동차의 꼬리 부분을 뒤따르는 자동차가 충돌하는 사고이다. 후방 충돌 또는 추돌사고라고 하며, 충돌 시 갑작스러운 충격이 탑승자에게 전달되며 상해를 유발한다. 후방 충돌 시 발생하는 목 상해는 편타성 상해라 하며 의학용어로 Whiplash, 경추부 염좌라고 한다. 이 상해는 승객이 차량에 탑승한 상태에서 갑작스러운 추돌로 목이 뒤로 꺾이는 거동으로 발생하는 상해다. [7]

대부분의 AIS[1)]1 목 상해는 후방 충돌 18km/h(ΔV) 전후에서 발생하며, 자동차안전도평가 목 상해 평가를 위한 후방 충돌 시 충돌속도 조건은 약 16km/h로 정하고 있다. [14] 차량의 종류마다 구조가 다르고 후방 충돌시 발생하는 충격 가속도 형상은 다르지만, 충돌 조건으로 삼각형 모양의 가속도 펄스를 사용한다. 과거 해외의 연구에 따르면 이 삼각 펄스는 여러 차량을 대차로 후방 충돌하여 측정한 가속도 값을 통해 여러 차량이 삼각형 모양의 펄스 또는 2개의 피크 값을 갖는 충돌 펄스 모양을 확인하였고. 해당 펄스에서 인체모형을 사용한 후방 충돌에 대한 재현성이 실제 후방 충돌보다 우수하다고 하였다. [17]

---

1) AIS; Abbreviated Injury Scale(약식상해등급)

이와 같은 유형의 사고 상황을 재현하는 시험으로 자동차안전도평가에서는 충돌 안전성 분야의 좌석 안전성 평가로 탑승자의 목 상해 안전성을 확인하는 안전성 평가를 수행하고 있다.

2. 국내외 목 상해 안전도평가

국내 법규시험에는 법으로 명시되어 반드시 지켜야 하는 자동차 안전기준과는 다르게 의무사항은 아닌 자동차안전도평가 제도가 있다. 자동차안전기준은 차량이 갖추어야 할 최소한의 안전 성능을 보장하는 기준이고, 자동차안전도평가에서는 법에서 정한 최소한의 안전기준 이상의 성능에 대해 계량적으로 평가하여 차량에 대한 안전 성능점수를 공개한다.

우리나라와 해외 주요국가에서는 매년 자동차의 안전 성능을 평가하고 그 결과를 공개하기 위해 자동차안전도평가 제도를 운영한다. 그중 한국에서 진행되는 자동차안전도평가를 Korea New Car Assessment Program (KNCAP)이라 하며, 출시되는 신차에 대해 다양한 안전성을 평가한다. 이 제도는 1999년에 시작되어 현재 총 3가지 분야 27종의 테스트를 진행하고 있으며, 3가지 분야는 충돌 안전성/외부통행자 안전성/사고 예방 안전성으로 나눠진다. 목 상해 평가는 2008년부터 수행되었으며, 충돌 안전성 평가의 한 항목으로 수행되고 있다. [6]

후방 충돌 시 목 상해 안전성 시험은 국내뿐 아니라 해외의 주요국가에서 실시 중이며 주요 기관은 미국, 유럽, 일본 등의 Euro NCAP, JNCAP 등 있다. 참고로 국가별 목 상해를 평가하는 방법은 조금씩 다르고 결과에 대한 평가 배점 기준도 다르지만, 모두 후방 충돌용 인체모

형인 BioRID-II 인체모형을 평가에 사용하며, 가속도 시험 장비로 충돌 상황을 구현하는 충돌모의 시험을 진행한다.

3. 국내외 목 상해 안전기준

후방 충돌 시 목 상해 시험에 대한 자동차안전기준으로는 국제 기술 규정(GTR No.7; Global Technical Regulation)으로 목 상해(Whiplash)에 대한 차량 머리지지대 안전 성능 시험의 안전기준을 개발하기 위해 2007년부터 Informal Working Group이 결성되어 연구가 진행되었으며, 2020년 최종 제안이 제출된 상태로 국제기준인 GTR No.7 Head restraint phase 2단계가 연구되었다. [14]

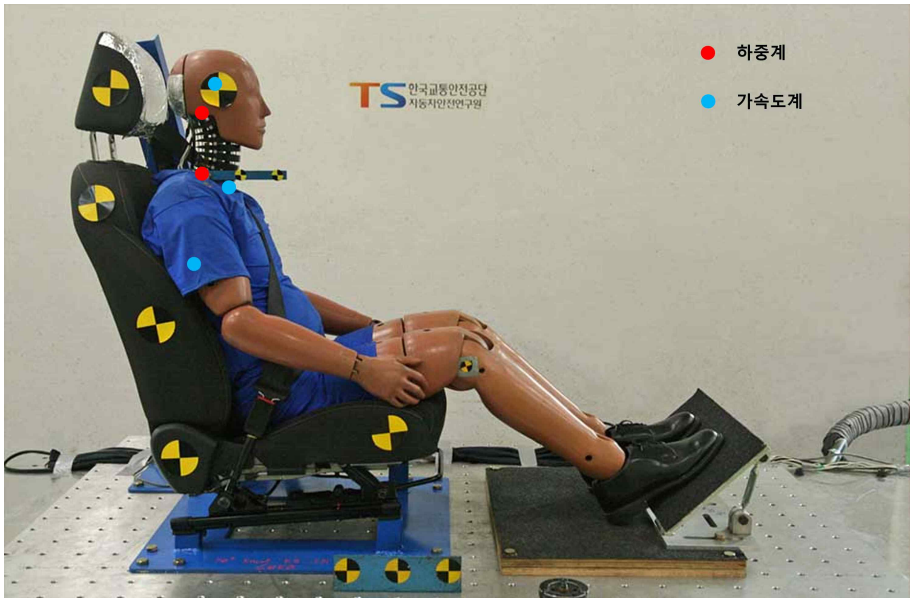
머리지지대의 안전 성능 시험은 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙 제26조 머리지지대에 따라 승용차, 4.5톤 이하의 승합차, 화물차, 특수차의 1열 좌석에 의무로 설치되며, 동 기준 99조에 따라 안전 성능 요건을 갖추어야 한다. 머리지지대는 추돌시 승차자의 목 상해 감소시키기 위한 장치로, 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준 시행세칙 별표1 7.머리지지대 정의에 따르면 다음과 같다. [5]

<별표1> 7. 머리지지대

7.2.1 “머리지지대”란 R점에서 몸통기준선 양쪽으로 85mm를 통과하는 두 개의 수직종단평면 사이의 임의 점에서 700mm이상의 높이를 가지고 탑승자의 몸통에 대해 상대적으로 머리의 후방이동을 제한하는 장치를 말한다.

4. 후방 충돌용 인체모형과 지표

안전도평가 시험과 안전기준 시험에서는 실제 탑승자를 대신하여 충돌모의 시험에 인체모형을 사용한다. 이 장비는 미국 Humanetics社의 BioRID-II 후방 충돌용 인체모형으로 정면충돌에 사용하는 Hybrid Ⅲ 인체모형과 차이가 있으며, 탑승자의 목 상해 측정을 더 자세하게 확인하기 위해 개발된 인체모형이다. 후방 충돌용 인체모형에는 머리 가속도계, 척추(T1, T8) 가속도계, 목(상단, 하단) 하중계 등으로 구성되어있다. [16] 미국에서의 연구에 따르면 17km/h와 24km/h 후방충돌 상황에서 세 종류의 인체모형과 충돌모의 시험을 통해 생체 유사도를 연구하였다. 결과로 후방충돌용 인체모형(BioRID-II)은 다른 RID3D 및 HybridⅢ 인체모형에 비해 전반적으로 최고의 생체 충실도를 보여주었다. [18]



[그림 3] 후방 충돌용 인체모형(BioRid-Ⅱ)

전체 크기	780.0 x 466.0 x 1312.0 [mm]
전체 무게	77.6 [kg]
앉은 키	0.0 x 0.0 x 870.0 [mm]

[표 1] 후방 충돌용 인체모형(BioRid-Ⅱ) 제원

목 상해지표는 연구에서 주로 다룰 데이터로 앞에서 소개한 BioRID-II 인체모형을 통해 측정되는 센서 값이다. 대표적으로 Neck Injury Criteria(NIC), 목 상단 전단력(Fx), 목 상단 인장력(Fz)가 있다. NIC는 머리의 가속도와 목 가속도 사이의 상대 가속도 크기를 시간에 따라 적분하면서 계산할 수 있다. 그리고 Fx와 Fz는 목 상단에 장착되어있는 하중 측정 센서값이며 해당 위치에서 후방 충돌 시 목 거동에 따른 하중 값을 통해 얻어진다. [4] 얻어진 값은 그 정도에 따라 안전도평가 점수로 변환된다.

2. 이론적 배경과 선행연구 고찰

이전 장에서는 연구의 배경과 필요성에 대해서 다루었으며, 이번 장에서는 연구의 이론적 배경과 선행연구에 대해 알아보고자 한다.

제1절 이론적 배경

1. 이론적 배경

후방 충돌에 대한 탑승자 목 상해를 확인하기 위해 과거부터 사체 시험 또는 인체모형 충돌시험 또는 디지털 시뮬레이션의 방법을 통한 충돌 시뮬레이션 시험이 시행되어 오고 있다. 최근에는 목 상해 관련 연구를 위해 디지털 시뮬레이션의 유한요소 해석 기법 등이 주로 수행되어 오고 있는 등 차량 안전에 관한 상해 분석연구가 이루어지고 있다.

이번 연구에서 다루고자 하는 방법은 다양한 브랜드와 여러 차종에 대하여 수행된 후방 충돌모의 시험 결과를 예측 분석하는 것이다. 분석을 통해 더 일반화된 안전 성능 경향을 확인한다. 차량 제작 시 차량의 안전 성능을 확인할 때는 실제 차량의 시험뿐만 아니라 차량과 같은 디지털 시뮬레이션으로 가상모델을 구성하여, 유한요소 해석 등 디지털 환경에서 안전 성능을 확인한다. 하지만, 디지털 시뮬레이션 구축은 실제와 유사하게 잘 설계가 되면 효과적으로 사용할 수 있지만, 다양한 차종에 대해 정밀하게 구축하기엔 시간과 비용이 많이 동반되기도 하며, 실제 차량의 물성값을 적용하는 데 한계가 있다. 이번 연구에서는 다양한 시

험품에 대한 결과분석 연구를 통해 후방충돌 상황에서의 일반적인 안전 성능 경향을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 차량의 안전 성능점수와 등급을 확인하는 자동차안전도 평가 시험 중 후방 충돌시험을 대상으로 한다. 후방 충돌시험은 탑승자의 목 상해 안전성에 대해 인체모형으로 평가 결과를 확인할 수 있으며, 이 데이터를 통해 시험 시 탑승자의 착석 위치 및 좌석의 사양 등의 조건이 시험 결과인 시험용 인체모형 상해지표와 어떤 관계가 있고, 조건에 따른 결과를 분석 예측하는 연구를 진행하고자 한다.

시험조건은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 좌석과 머리지지대의 타입에 따른 분류와 탑승자의 착석정보이며 다음과 같다. 좌석과 머리지지대의 타입은 조절 가능 방향에 따른 분류이며, 탑승자의 착석정보에 따른 데이터는 머리 위치, 골반 각도 등이다.

제2절 선행연구 고찰

1. 선행연구 고찰

후방 충돌상황에서 차량 내 탑승자의 위치와 좌석에서의 자세가 인체 상해와 관련이 있는 연구를 중심으로 선행연구를 살펴보았다. Linda Eriksson et al A. Kullgren은 실차충돌과 디지털 시뮬레이션, 그리고 충돌모의 시험의 비교를 통해 상해 위험은 좌석 형상 및 좌석 자세의 변화에 대해 설정될 수 있다고 하였다. 연구는 후방 충돌사고 시 탑승자의 상해에 대하여 110명의 탑승자와 79건의 충돌사고 Case를 통해

Madymo 시뮬레이션, 충돌모의 시험에서 추정된 상해 기준값과 상관관계를 주요 변수인 좌석 등받이 각도, 관절의 꺾임 정도, 허리뼈와 척추의 모양, 그리고 머리지지대의 높이로 설정하고 확인하였다. [12]

Linda Eriksson는 BioRid-Ⅱ Madymo 시뮬레이션을 통해 머리지지대의 위치가 AIS1 수준의 목 상해를 발생시키는 영향에 대해 BioRID-II Madymo 시뮬레이션 시험을 시행하였다. 모델은 3가지 좌석을 구현하였으며, 좌석 모델당 132개의 머리 위치에서 시험을 시행하였다. 결과는 등받이, 머리의 높이에 의한 영향은 적고 주로 머리와 머리지지대의 간격 감소로 인한 상해 위험 감소가 있음을 확인하였다. [15]

Ola Bostrom et A은 목 상해 감소를 위한 좌석 개발을 위해 보험사와 경찰 데이터를 분석하고 좌석 개선품에 대한 인체모형 시험을 통해 저속 후방 충돌 시 탑승자의 목 상해에 대해 안전성을 확인하였다. 결과는 좌석 설계 시 탑승자의 머리와 머리지지대 간 간격을 줄이고, 머리의 머리지지대 충격 흡수를 통해 에너지를 줄이는 것이 목 상해에 좋은 영향이 있음을 확인하였다. [9]

이재완은 등받이 강성과 목 상해의 관계를 파악하기 위해 HybridⅢ 인체모형을 이용하여 5가지 속도별 후방 충돌모의 시험을 진행하였다. 목 상해 저감을 위해 탑승자의 운동에너지 흡수를 등받이 변형과 목 상해 감소를 위한 좌석 설계로 머리-목 운동을 최소화 하여 젖힘 모멘트를 줄일 수 있는 머리지지대의 위치, 크기 및 등받이 강성 등의 적절한 방안이 필요함을 확인하였다. [4]

3. 연구의 설계 및 방법

이전 장에서는 연구의 이론적 배경과 관련 선행연구를 확인하였다. 이번 장에서는 연구의 자세한 방법을 설명한다.

제1절 연구절차

1. 연구 데이터

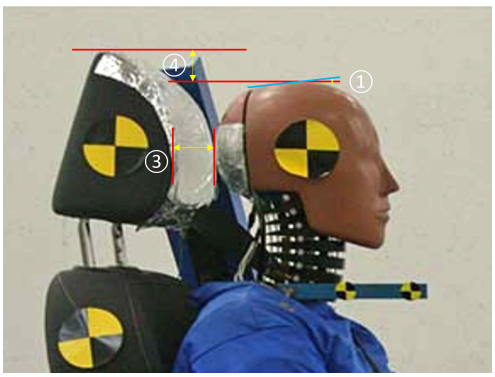
본 연구에서는 시험 전 정보인 인체모형의 착석정보와 좌석의 타입 정보를 이용하여 인체 상해 값 예측분석을 알아보기 위해 2010년부터 2021년까지의 자동차안전도평가 후방 충돌 목 상해 시험의 274개 데이터를 수집하였고, 데이터 중 자료가 소실되거나 불확실한 내용은 제외하고 194개의 데이터가 분석에 사용되었다.

2. 시험 전 데이터 수집

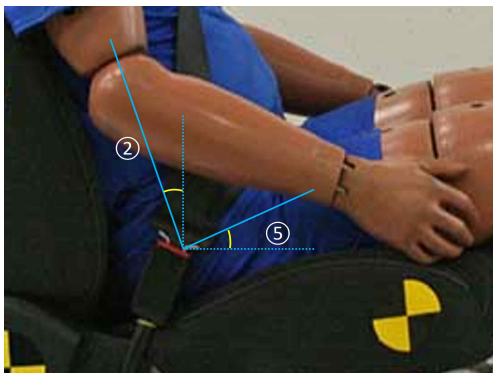
데이터 수집을 위한 목 상해 시험방법은 다음과 같이 자동차안전도평가 TP7에 따른다. 시험 차종별 좌석을 충돌모의 시험 장비에 착석시킨 후, 3차원 마네킨을 설치한다. 설치 시 3차원 마네킨에서 얻을 수 있는 H-Point 좌표와 각도, 마네킨과 머리지지대와의 머리 간격과 높이를 측정한다. 그리고 측정한 위치를 기준으로 BioRID-II 인체모형을 착좌시키고, 결과를 기록한다.

측정데이터	측정 단위
머리각도(Head Angle)	각도[degree°]
몸통각도(Torso Angle)	각도[degree°]
후방간격(Backset)	길이[mm]
머리높이(Height)	길이[mm]
골반각도(Pelvis Angle)	각도[degree°]
좌석 타입(Seat Type)	움직임 방식에 따른 분류
머리지지대 타입(Headrest Type)	움직임 방식에 따른 분류

[표 2] 독립변수 Table



[그림 4] 머리 각도, 위치



[그림 5] 골반, 몸통 각도

기록이 완료된 후 충돌모의 시험 장비를 작동하여 약 16km/h 속도의 후방 충돌모의 테스트를 진행하고 이에 따른 인체모형 상해 지표 결과를 얻는다. 인체모형에서 얻어지는 시험 결과는 다음과 같다.

수집데이터	측정 단위
머리지지대 접촉시간	시간[ms]
T1 가속도	가속도[g]
목 상단부 전단력	힘[N]
목 상단부 인장력	힘[N]
머리반발속도	속도[m/s]
목 상해 지수	길이*가속도[m^2/s^2]
목 상단부 전단력과 모멘트의 합성지수	-

[표 3] 종속변수 Table

3. 목 상해 시험 절차

목 상해 시험의 절차는 「자동차안전도평가시험 등에 관한 규정」[국토교통부 고시 제2022-305호](2022.6.3.) 개정에 따라 제정된 「자동차안전도평가시험 등에 관한 기술규정」 “KNCAP TP-CS-7 좌석 안전성 시험방법 및 평가방법”에 따라 수행되었다. [2] 시험은 Dynamic Test와 Static Test로 구분이 되어있는데 본 시험은 16km/h로 수행된 Dynamic Test로 차량의 1열인 운전자석과 조수석을 대상으로 하며 다음과 같은 절차를 따른다.

첫째로 좌석 고정 및 설치한다. 시험에 필요한 차량의 좌석을 자동차 차체에서 분리하여, 좌석 고정장치에 부착한다. 좌석 고정장치는 차량의 고정 좌표를 기초로 같은 위치와 각도로 설치할 수 있게 제작한다. 둘째

로, 좌석의 시험 위치 설정한다. 시험 좌석의 위치는 조절할 수 있는 중간위치를 찾아 조절한다. 앞뒤 또는 위아래 움직임에 대해 3차원 다관절 측정 장비를 활용하여 중간위치를 기록하고 설정한다. 허리뼈 지지대는 가장 수축한 상태로 조절하며, 이밖에 조절할 수 있는 부분은 중간위치로 조절한다. 셋째로 머리지지대의 시험 위치 설정한다. 머리지지대의 시험 위치는 조절할 수 있는 중간위치로 조절한다.

넷째로 좌석 안전띠 위치를 설정한다. 좌석 안전띠의 경우 차량의 필러 위치를 3차원 좌표계로 측정하여 시험 차량과 같은 위치에 설치한다. 다섯째로 3차원 마네킨을 착석시킨다. 준비된 좌석에 3차원 마네킨을 설치하여 후방간격과 머리 높이, 몸통 간격과 그리고 H-point 등을 기록한다. 여섯째로 후방 충돌용 인체모형(BioRID-Ⅱ)을 착석시킨다. 3차원 마네킨으로 확인한 후방간격과 머리 높이 그리고 H-point 좌표를 이용하여 후방 충돌용 인체모형을 같은 위치에 착석시키고 최종 결괏값을 기록한다. 일곱 번째로 동적 시험을 시행하고 데이터를 측정한다.

최종 착석시킨 후방 충돌용 인체모형을 충돌모의 시험 장비를 이용하여 후방 충돌을 모사하고, 자료를 수집한다. 마지막으로 시험 결과인 데이터를 수집 및 분석한다. 데이터를 시험 분석절차에 따라 분석하여 최종 결과를 얻는다.

4. 데이터 측정 장비

데이터 계측 장비는 다음과 같다. DTS社의 데이터수집장치이며 인체모형의 머리(Head), 목(Neck), 척추 등에 가속도와 하중 센서가 설치되며, 시험 결과 데이터를 초당 10,000개로 측정한다.

제2절 연구방법

1. 독립변수 및 종속변수 설정

시험으로 확인할 수 있는 좌석과 머리지지대의 타입, 그리고 인체모형의 착석 위치를 독립변수로 설정하고, 착석 조건에 맞춰 진행한 후방 충돌모의 시험에 따른 결과인 인체모형 센서 측정값을 종속변수로 한다. 독립변수인 좌석과 머리지지대 타입을 확인하고 착석 위치는 각도기와 자를 통해서 측정한다. 그리고 종속변수인 인체모형 상해 지표는 인체모형 내부에 장착된 센서와 데이터 계측 장비를 통해 얻을 수 있다.

최종 구성된 독립변수는 머리 각도(Head Angle), 몸통 각도(Torso Angle), 후방간격(Backset), 머리 높이(Height), 골반 각도(Pelvis Angle), 좌석 타입(Seat Type), 머리지지대 타입(Headrest Type) 이며, 종속변수는 머리지지대 접촉시간(Head Contact Time), T1 가속도(T1 acceleration), 목 상단부 전단력(Neck Upper Shear Force), ,목 상단부 인장력(Neck Upper Tension Force), 머리반발속도(Head Rebound Velocity), 목 상해 지수(Neck Injury Criteria), 목 상단부 전단력과 모멘트의 합성지수(Nkm)로 구성된다.

2. 데이터 분석

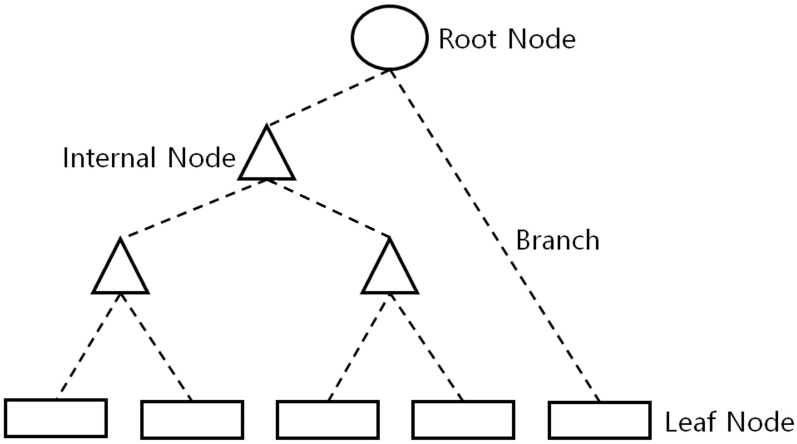
데이터 분석에는 통계 프로그램인 R을 사용하였다. 공개 프로그램으로 연구에 사용하고자 하는 의사결정트리 분석 알고리즘이 잘 구현되어있어 데이터 분석 도구로 활용하였다.

3. 지도학습

기계학습의 여러 방법 중 두 가지 학습 방법이 있다. 데이터의 결과를 미리 알고 결과와 다른 변수 간의 관계를 함께 학습시키는 지도학습과 데이터 결과 없이 독립변수 데이터를 학습시켜 숨은 패턴 등 관계를 찾는 비지도학습이 있다. [19] 이번 연구에는 다년간 수행된 테스트 데이터를 활용하여 기계학습을 통해 학습 및 예측분석 할 예정이다. 테스트 데이터는 결괏값이 존재하여, 예측 모델에 테스트 데이터를 학습시키는 지도학습을 적용했다.

4. 의사결정트리

지도학습 중에도 여러 학습 방법이 있다. 이중 연구에 가장 적합한 모델로 의사결정트리(Decision Tree) 방법을 선정하였다. 이 방법은 데이터(종속변수)가 가지고 있는 정보량을 기준으로 데이터를 이분법으로 가지를 생성하며 데이터를 분류해 나가는 방법으로, 결과를 시각적, 논리적으로 설명되며, 아래와 같은 구조로 구성된다. 시작점에서는 Root Node이며 뿌리 마디로 모든 데이터로 구성된다. 그리고, 중간단계에서는 Internal Node 중간 마디로 데이터 분할의 중간인 구간이며, 마지막 단계로 Leaf Node로 데이터 분할의 최하위 마디이며, 종료된 마디 수만큼 분류 규칙이 생성한다. 그리고 중간의 가지는 Branch로 마디에서 마디로 가지가 뻗어 나가는 구간이다. [20]



[그림 6] 의사결정트리 모형 도식화

5. 알고리즘 선정

의사결정트리 분석 알고리즘에는 크게 4가지가 있는데 본 연구 자료는 길이, 각도 등 주로 수치 데이터로 수집되었다. 대표적으로 ID3 Algorithm은 1986년 Quinlan, J. R.에 의해 개발된 알고리즘으로 엔트로피를 불순도로 계산하며, 독립변수가 모두 범주형 일 경우만 사용 가능하다는 단점이 있다. 그리고, C5.0 Algorithm은 ID3의 상업적 모델로 1993년 C4.5 분류 모델을 거쳐 1998년 완성된 알고리즘으로, 부스팅이나 오차별 비용을 산정하는 방식 등의 기능을 추가해 개선한 버전이다. 다음으로 CHAID Algorithm은 1980년 Gordon V.Kass에 의해 개발되었으며, 장점은 출력이 시각적이며 해석하기가 쉽지만, 다중 방향 분할을 사용하기 때문에 다소 큰 표본이 필요하며, 마지막으로 CART Algorithm은 분류 및 회귀 트리로 1984년 Breiman et al.에 의해 처음 도입되어 사용되었으며, 가지치기를 통해 분할 위치를 결정하는 절차가 있는 차이가 있다.

연구 자료에 적절한 알고리즘 방식으로 수치 데이터에 적합한 회귀 트리 CART(Classification and Regression Tree) 방식을 사용하였으며, 분석 데이터의 수가 194건으로 단일 트리 모델을 구성하여 가능한 최대의 데이터를 활용하여 예측분석 모델을 구성 및 시험 결과 경향을 확인하였다.

제3절 연구분석

1. 분석방법 선정

본 연구는 기존 연구원에서 수행한 시험으로 축적된 데이터가 존재하고, 데이터에 관한 결과를 알고 있으므로 지도학습 방법을 적용하였는데, 일반적인 회귀 분석 방법과 달리, 의사결정트리 분석을 통해 다수의 독립변수를 활용하여 결과를 예측하는 분석방법을 사용하였다. 이 방법은 분류, 수치 두 가지 데이터 타입에 적용할 수 있으며, 여러 변수를 동시에 적용하여 결과분석을 수행한다.

먼저, 의사결정트리 분석은 예측분석 결과를 트리모형으로 시각화할 수 있으며, 예측 결과에 대한 논리를 모형의 가지 순서대로 만들 수 있어 설명하기 쉽다는 장점이 있다. 지도학습 방법에 회귀 분석적인 여러 방법이 있지만, 대부분 방법은 도출된 결과에 대해 직관적으로 쉽게 설명하기가 어렵다. 이번 연구의 대상인 자동차안전도평가는 결과에 대해 공개하는 제도로 예측 모델을 통해 결과 설명이 언제든지 가능하여 분석 모델로 정했다.

마지막으로, 의사결정트리 모델은 특성에 따라 다양한 변수에 대한 복

잡한 관계를 잘 풀어낼 수 있다는 장점이 있다. 연구에 사용된 독립변수는 7개로 많지 않지만 향후 차량의 안전 성능을 확인할 수 있는 추가적인 변수를 확인하기 위해 모델의 크기를 크게 확장할 수 있어 확대 적용이 쉽다. 또한, 의사결정트리 모델은 범주형, 수치형 데이터를 모두 사용할 수 있다. 자동차안전도평가 시험 결과는 보통 거리나 각도 등 수치형으로 표시되지만, 특정 기능의 유무 등 범주형 데이터로 수집될 수 있다, 이처럼 데이터의 종류에 자유롭다는 장점이 있다.

2. 분석 계획

분석할 내용은 연구 모형에 따라 다음과 같다. 독립변수로 좌석 조절 사양과 머리지지대 조절 사양 그리고 인체모형의 착석 위치이며, 예측할 종속변수로는 자동차안전도평가 목 상해 평가에서 7가지 인체모형 상해 지표인 머리지지대 접촉시간, 목 상단 전단력, 목 상단 수직력, 인장력, 목 상해 지수(NIC) 목 상해 합성지수(Nkm)이다. 또한, 의사결정 트리모형에서 예측 데이터의 신뢰성을 위해 데이터는 80 : 20의 비율로 무작위 분할 하여 진행하였다.

4. 연구결과

이전 장에서는 연구를 위한 시험방법과 변수에 대한 설명, 그리고 분석 방법에 대해서 다루었으며, 이번 장에서는 연구결과에 관해 확인하고자 한다.

제 1절 인체 상해 예측 모델

1. 예측 모델 도출

안전도평가 결과인 인체 상해치를 예측하는 의사결정 트리 모델은 R 프로그램의 rpart package 기능으로 구현하였으며, 분석 모델 구성 시 CART 알고리즘을 적용한 결과 다음과 같은 예측 모형 결과가 나왔다. 첫 번째부터 HCT(머리접촉시간)는 4개의 Node 모델, T1_Acc(T1 가속도)는 6개의 Node 모델, USF(목 상단 전단력)는 5개 Node 모델, UZF(목 상단 인장력)은 6개 Node 모델, HRV(머리 반발속도)는 6개 Node 모델, NIC(목 상해 지수)는 6개 Node 모델, Nkm(합성지수)은 7개 Node 모델로 구성된다.

구성된 의사결정트리의 모델 성능 평가 검증은 실제 데이터와 예측 데이터에 대하여 R 프로그램의 상관관계 함수를 적용하여, 실제값과 예측값의 값을 비교하는 피어슨 상관계수를 도출하였고, 또한 실제 데이터의 평균치와 예측 데이터의 평균치를 비교한 결과는 다음 표와 같다.

항목	HCT	T1 Acc	USF	UZF	HRV	NIC	Nkm
Node	4	6	5	6	6	6	7
Pearson Correlation Coefficient	0.7224	-0.0710	0.2805	0.5196	0.4036	0.2903	-0.0361
[A]Mean Absolute Error	4.5572 (ms)	1.1885 (g)	9.9096 (N)	86.205 (N)	0.3990 (N)	2.3463 (m^2/s^2)	0.0405
[B]KNCAP Criteria	57-82 (ms)	9.30-13.10 (g)	30-190 (N)	360-750 (N)	3.20-4.80 (N)	11.0-24.0 (m^2/s^2)	0.15-0.55
Ratio [A]/[B]	0.0556	0.097	0.0522	0.1149	0.0831	0.0978	0.0736

[표 4] 결과 비교표

위 표에서 3번째 행에 해당하는 '평균값의 차이의 절대값([A]Mean Absolute Error)의 차이'가 얼마나 받아들일 수 있는 오차인지를 확인하고자, 네번째 행인 안전도평가 상해 기준값([B]KNCAP Criteria)과 비교하였다. 그 결과 안전도 평가 기준의 최대 상해 기준값 대비 10% 내외의 차이를 확인했다.

2. 의사결정트리 분석 모델 분기점

상관계수가 값에 대하여 유의미한 결과를 보인 HCT, USF, UZF, HRV, NIC의 경우 예측 트리모형은 아래와 표와 같이 각각의 노드에서 표와 같은 독립변수인 안전 성능 요소에 의해 분할되는 것을 확인할 수 있다.

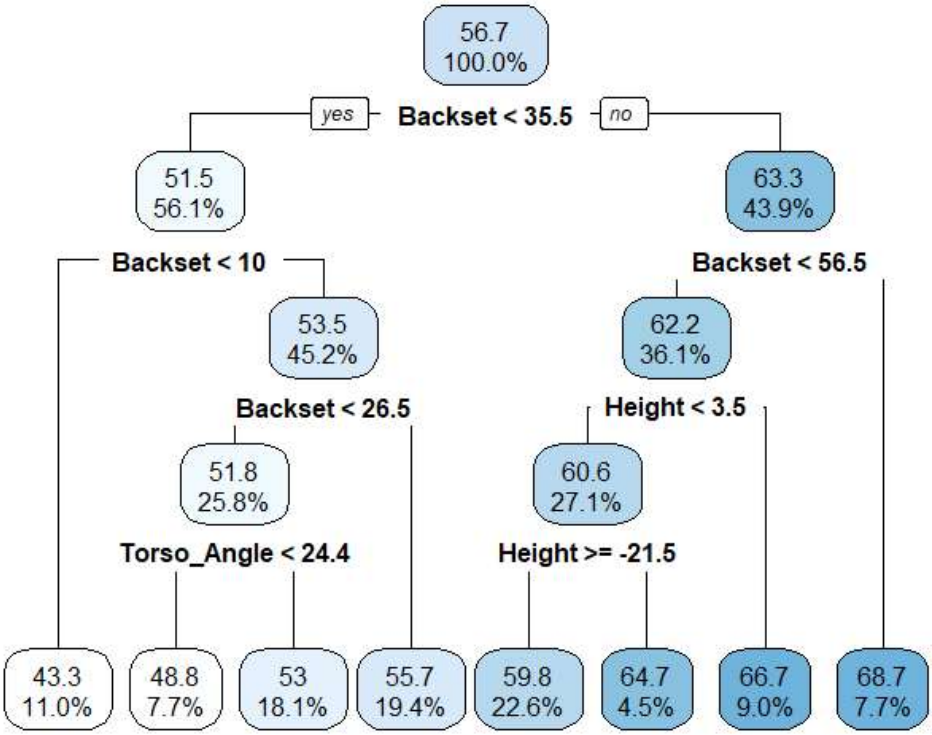
Node	HCT	USF	UZF	HRV	NIC
1	Backset<	Height<	Backset<	Backset<	Backset<
2	Backset<	Pelvis_Angle>=	Head_Angle>= Backset<	Backset>= Height<	Pelvis_Angle>= Height>=
3	Backset< Height<	Pelvis_Angle<	Height<	Pelvis_Angle< Head_Angle>=	Height>= Pelvis_Angle>=
4	Torso_Angle< Height>=	Pelvis_Angle>= Backset<	Backset<	Backset<	Backset< Height<
5	-	Pelvis_Angle>=	Height>=	Height< Pelvis_Angle>=	Pelvis_Angle< Height>=
6	-	-	Seat_Type1>=	Seat_Type1>=	Backset>= Backset>=

[표 5] 의사결정트리 모델 분기표

의사결정트리 분석방법에 따른 분할 결과는 가장 많은 정보량으로 분할에 사용되는 첫 번째 노드에서 변수를 확인하면, 독립변수 중 착석 위치에 대한 정보인 머리와 머리지지대 간의 간격(Backset)이 5개 중 4개의 변수로 사용되었으며, 그다음으로는 머리와 머리지지대 사이의 높이가 1개의 변수에서 사용되어 그다음으로 빈도가 높았다. 좌석의 타입은 목 상단 전단력과 머리 반발속도에서 여섯 번째 노드의 정보로 사용되었으며, 머리지지대 타입은 분기점에서 사용 변수로 생성되지 않았다.

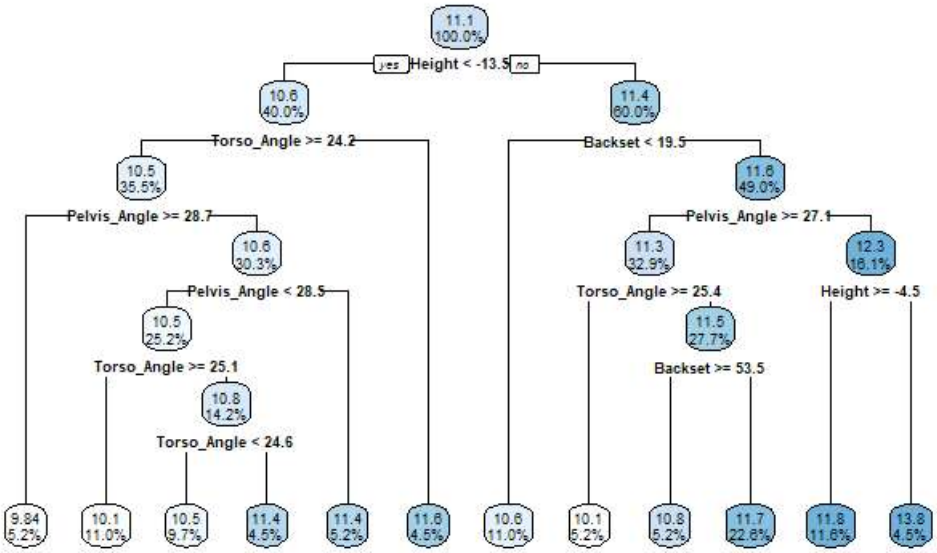
3. 의사결정트리 분석 모형

1) Head Contact Time



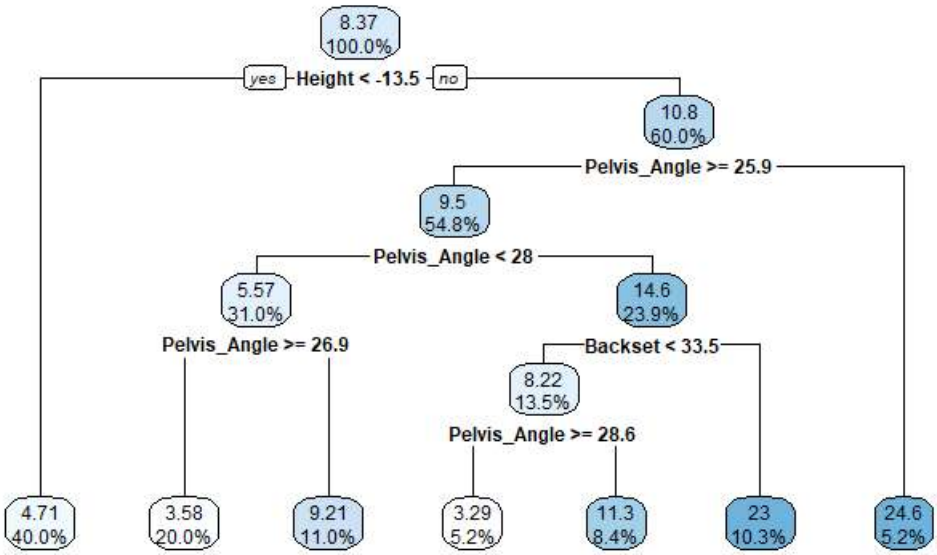
[그림 7] HCT 예측 트리모형

2) T1 가속도



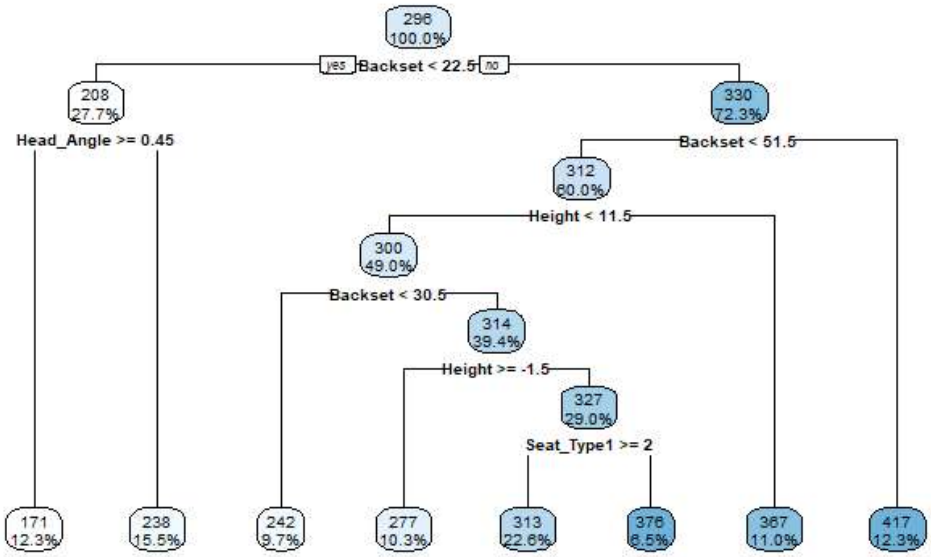
[그림 8] T1 가속도 예측 트리모형

3) Upper Neck Shear Force



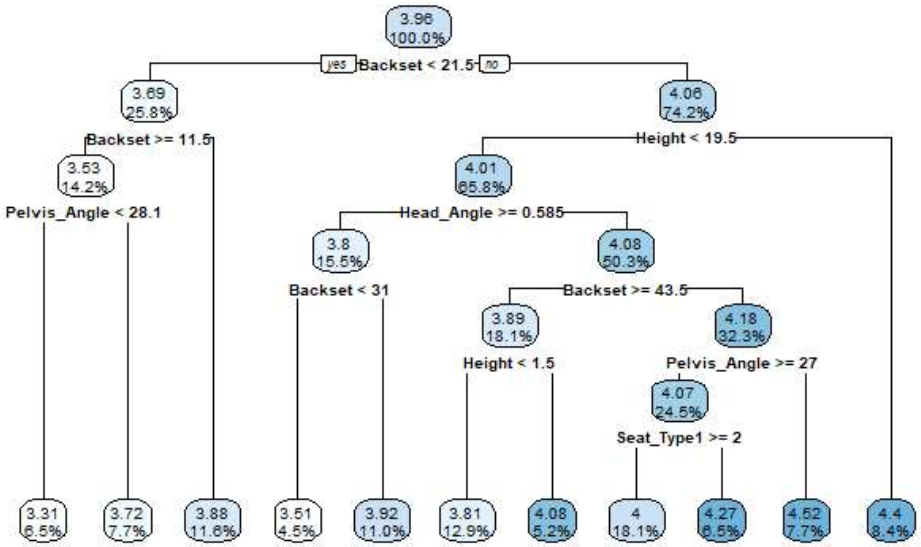
[그림 9] USF 예측 트리모형

4) Upper Neck Tension Force



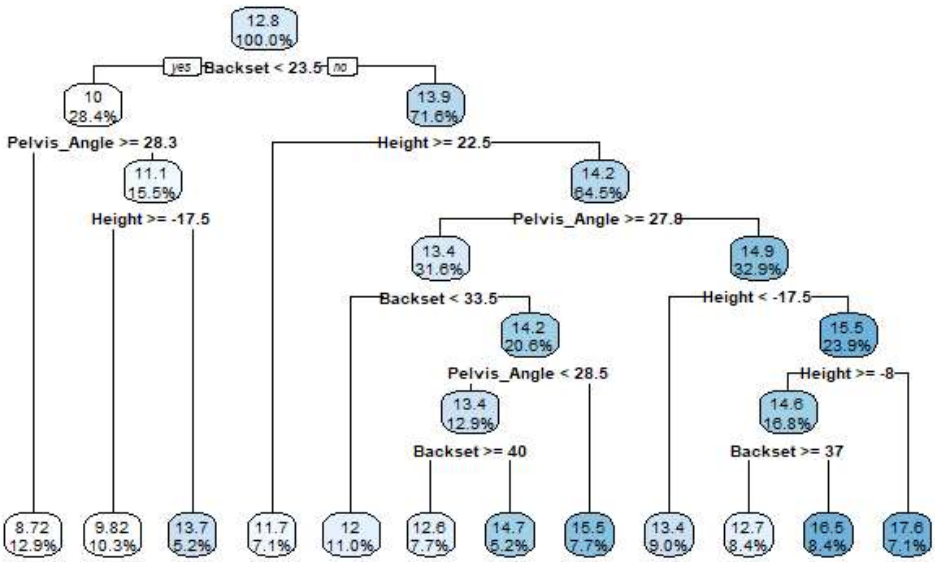
[그림 10] UZF 예측 트리모형

5) Head Rebound Velocity



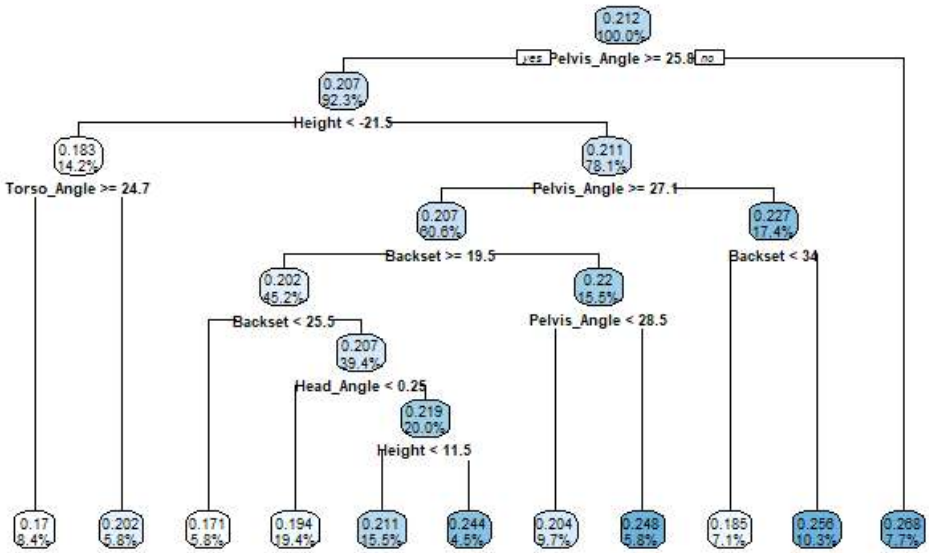
[그림 11] HRV 예측 트리모형

6) Neck Injury Criteria



[그림 12] NIC 예측 트리모형

7) Nkm



[그림 13] Nkm 예측 트리모형

제 2절 인체 상해 예측 비교

1. 예측 성능 결과

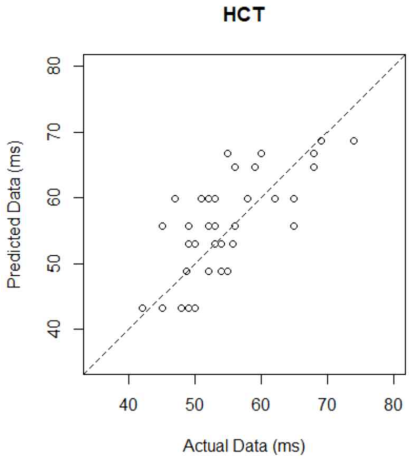
시험 결과에 대한 예측 결과를 [표 4] 결과 비교표를 통해 피어슨 상관계수를 확인하였다. 상관계수는 시험데이터 39건의 각 종속변수 결괏값과 구성된 의사결정트리 예측 모델로 예측된 결괏값을 피어슨 상관계수 값 도출을 통해 분석하였으며, 모든 예측값이 맞을 때 1이 되며 두 변수 간의 선형적 관계가 없을 때는 0에 가깝게 도출된다. 주어진 39개의 피어슨 상관계수 값은 HCT, USF, UZF, HRV, NIC에서 최소 0.2903부터 최대 0.7224의 상관계수 값을 보였지만 T1_Acc, Nkm에서는 거의 0에 가까운 상관계수를 확인할 수 있었다.

또한, 종속변수별 예측값과 실제 값의 39건에 대한 평균값 비교를 통해 예측값에 대한 성능을 확인하였다. 최소비율의 경우 USF의 경우로 실제 값과 예측값의 평균 차이는 9.9096으로 안전도 평가 기준치 대비 5.22% 차이를 보였으며 최대 비율의 경우 UZF로 86.205로 11.49%를 차지하였다. 이를 통해 각 변수에 따른 실제 값과 예측값의 평균 차이는 약 10% 수준인 것을 확인할 수 있었다.

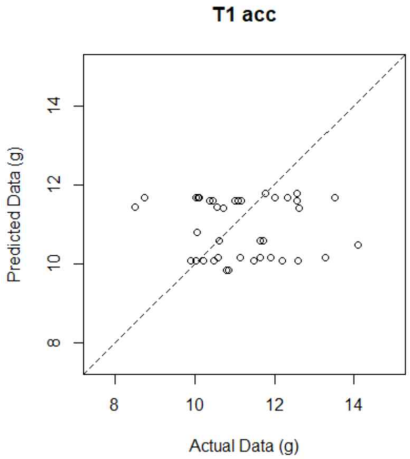
그리고 다음과 같이 시험용 데이터 39개에 대한 실제 값(라벨데이터)과 모델을 통해 예측된 값을 시각적으로 확인할 수 있는 산점도를 [그림 14]에서 [그림 20]까지의 결과와 같이 확인할 수 있으며, 피어슨 상관관계에 정도에 비례하여 경향을 따라가는 것을 확인할 수 있다.

마지막으로, 데이터의 무작위 선정을 통해 모델을 확인하는 교차검증을 수행하였다. 검증은 프로그램을 사용하여, 무작위로 1,000개의 모델을 만들고 상관계수의 평균값을 도출하였다. 그 결과는 이번 연구에서 수행한 상관계수 값과 상관계수 평균값의 차이는 ±0.1 내외의 차이를 보였다.

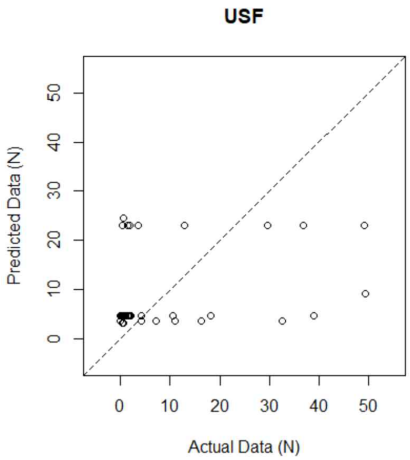
2. 예측 산점도



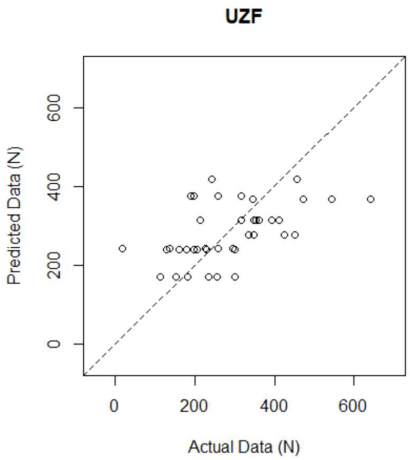
[그림 14] HCT 예측 산점도



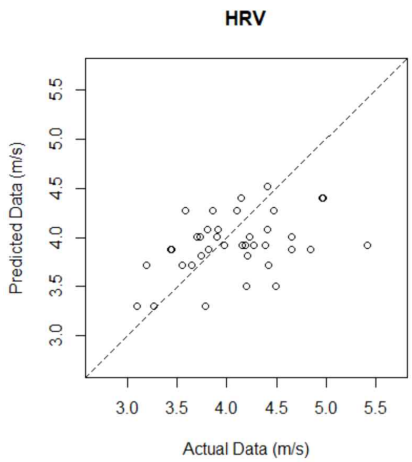
[그림 15] T1 acc 예측 산점도



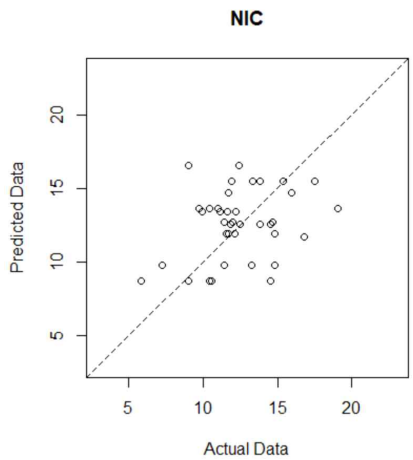
[그림 16] USF 예측 산점도



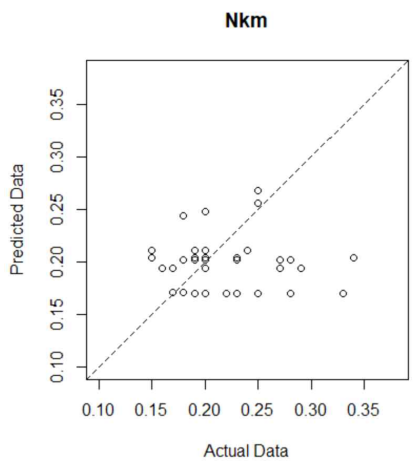
[그림 17] UZF 예측 산점도



[그림 18] HRV 예측 산점도



[그림 19] NIC 예측 산점도



[그림 20] Nkm 예측 산점도

5. 토의 및 결론

이전 장에서는 연구방법에 따라 수행된 의사결정 트리 모델에 관한 연구결과를 확인하였다. 이번 장에서는 그 결과를 통해 생각할 수 있는 점들을 확인하고자 한다.

제 1절 토의

1. 결과 토의

먼저, 본 연구는 각 차량의 개별 정보로만 존재하는 자동차안전도평가의 후방 충돌 목 상해 평가 결과를 설정 요인과의 관계를 찾는 연구다.
분석은 의사결정 트리 분석 모델링을 통해 도출되었으며, 기존 데이터를 활용하여 시간과 비용을 획기적으로 절감했다. 또한, 분석 모델은 시각적으로 표현되어 논리를 설명할 수 있다.

첫째로, 도출된 종속변수별 의사결정트리 모델에서 각 독립변수의 중요성을 알기 위해 노드의 순서에 따라 나타난 변수를 확인하였다.
HCT(머리접촉시간)의 경우는 후방간격이 첫 번째로 나타났으며, 노드에서 분기되는 방향은 후방간격이 작으면 작은 값이 크면 큰 값이 나오는 결과를 알 수 있다. HCT(머리접촉시간)는 머리가 머리지지대에 도달하는 시간으로 거리와 도달시간이 비례한다는 점에서 선행연구의 연구와 같다. [4]

두 번째로는 USF(목상단 전단력)의 값을 확인하였다. USF(목상단 전단력)값은 목 상단부의 전단력으로 단위는 뉴턴(N)이다. 첫 번째 노드에서 경향을 보면, 머리의 높이가 작아질 때 작아지는 경향을 볼 수 있다. 더 자세한 수치를 알기 위해 노드에서 분기되는 값을 확인하였다. 데이터는 -13.5보다 작은 경우로 나타나는데, 이는 머리지지대의 상단 높이가 머리의 높이보다 13.5mm 높은 경우로 머리지지대가 전체적으로 머리 포함하고, 후방 변위를 제한해주며 목 상단에 가해지는 하중이 줄어든다고 생각할 수 있다. 또한, 두 번째 노드로 골반 각도가 커질 때 작은 값이 나오는 경향을 확인할 수 있다. 골반 각도가 높다는 것은 인체모형의 허벅지 위치가 높다고 생각할 수 있으며, 자세로 인해 차량의 좌석에서 좀 더 뒤로 눕혀질 수 있는 자세가 된다고 볼 수 있다. 그리고, 뒤로 눕혀지면서 머리가 머리지지대에 가까워질 수 있다고 생각한다.

세 번째로는 UZF(목 상단 수직력)의 모델을 확인하였다. 목 상단 수직방향 힘에 대한 예측 모델로 후방간격이 작아지는 경우 작은 값으로 나온다는 경향을 볼 수 있다. 측정값은 머리가 머리지지대에 충돌할 때 발생하는데, 머리의 위치가 머리지지대에서 가까운 경우 머리의 속도가 줄어들며 머리에 가해지는 에너지도 비례해서 줄어 적은 수직력이 작용한다고 생각할 수 있다.

그리고 HRV(머리반발속도)에 대해서 확인해 보았다. 머리 반발속도는 후방 충돌 시 머리가 머리지지대에 충돌한 다음 반력으로 튕겨 나오는 속도다. 이 값 역시 후방간격이 작을 때 작은 값이 나오는 것을 확인할 수 있는데, HCT(머리접촉시간)와 마찬가지로 후방간격인 이동 거리가 짧아 머리가 가속되는 시간이 줄어 머리의 충격 에너지가 줄어들고, 이

로 인한 반발력이 작아지는 것으로 생각할 수 있다.

마지막으로 NIC(목 상해 인자) 값에 관해서 확인하였다. NIC(목 상해 인자)는 머리와 목의 가속도 차이를 통해 머리와 목의 위치 차이를 나타내는 지표로, 이 또한 머리지지대의 후방간격이 작을 때 작아지는 경향을 확인하였다. 후방간격이 작아 머리의 이동을 빠르게 제한시켜주면서 목과의 머리의 위치 차이가 크게 발생하는 것을 막아준다고 생각할 수 있다. 그리고, 두 번째 노드를 확인해 보면 골반 각도가 작아질 때 작은 값을 갖는 경향이 있다. 이 경향도 USF(목 상단 전단력)와 마찬가지로 착좌 자세에서 허벅지의 높이가 올라가면서 인체모형이 뒤로 눕는 자세가 되었을 것으로 생각한다.

다음으로는 연구를 통해 도출된 예측 결과를 트리의 가지를 따라 예측 결과를 해석해보았다. 해석은 높은 상관관계를 갖는 의사결정트리 모델 중 목 상해 지표로 나타날 수 있는 USF, UZF, NIC 3가지 예측 모델에 관해 확인했다. 해석은 각 모델에서 작은 값을 분류하는 순으로 수행하였다.

선행연구에 따르면 후방간격은 작아질 때 인체 상해 값이 작아지는 결과를 얻을 수 있었으며, 머리의 높이는 머리지지대와 같은 수준이며 머리지지대 보다 낮을 때 상해가 작은 결과가 있다고 하였다. [13] 모델을 통해 작게 분류하는 순서로 해석하였는데, USF(목 상단 전단력)의 모델의 가지를 따라가면 (1) Height < -13.5, (2) Height > -13.5, 28 > Pelvis_Angle >= 26.9, (3) Height > -13.5, Pelvis_Angle > 28.6, Backset < 33.5임을 알 수 있다. 머리의 위치가 낮으면 그리고 골반 각

도가 기준값에서 너무 벗어나지 않는 경우 그리고 후방간격이 작을 때 낮게 나오는 경향을 보였다.

각 노드에서 분기되는 방향을 살펴보면, 머리 간격의 경우 모두 작아질 때 상해가 작은 값이 나오는 것을 알 수 있다. 또한, 인체모형의 골반 각도는 26°를 기준으로 ±3의 오차 범위 내에서 설정되는데, 예측 모형 결과로 클수록 목 상단 전단력은 작은 경향을 확인할 수 있다. 이는 골반 각도가 커지면서 착석 자세가 후방간격이 작아지는 효과가 있을 것으로 생각된다.

다음으로 UZF(목 상단 수직력)의 모델을 통해 해석해보았다. 먼저 (1) Backset < 22.5, (2) 30.5 > Backset > 22.5, Height < 11.5, (3) 51.5 > Backset >= 30.5, 11.5 > Height >= -1.5의 결과를 확인할 수 있었으며, 목 상단 수직력은 후방간격이 작거나 머리의 높이가 작아질 때 낮은 값이 예측되는 경향이 나타났다.

각 노드에서 분기되는 방향을 살펴보면, 머리 간격의 경우 모두 작아질 때 상해가 작은 값이 나오는 것을 알 수 있으며, 선행연구와 같이 머리의 높이는 양의 값에서 0에 가까워지는 방향으로 작은 값을 예측하는 것을 알 수 있다.

마지막으로 NIC(목 상해 기준) 예측 모델을 통해 해석하였다. 첫 번째부터 (1) Backset < 23.5, Pelvis_Angle >=28.3, (2) Backset < 23.5, Pelvis_Angle < 28.3, Height >= -17.5, (3) Backset >= 23.5, Height >= 22.5, (4) 33.5 > Backset >= 23.5, Height < 22.5, Pelvis_Angle >=

27.8의 결과가 도출되었다.

NIC(목 상해 기준)의 경우 후방간격이 작고, 골반 각도가 클 경우, 그리고 후방간격이 작고, 골반 각도가 작은 경우 머리의 높이 커질 때 NIC(목 상해 기준)가 작은 값으로 분류되었다. 세 번째 경우는 선행연구 경향과 다르게 후방간격이 커지고 머리의 높이가 커질 경우였으며, 네 번째 경우는 후방간격이 작고 머리 높이가 작아지고, 그리고 골반 각도가 26° 이상으로 클 경우에서 상해 지표가 낮은 값이 예측되는 경향이 나타났다. NIC(목 상해 기준)는 후방 충돌 시 머리와 목의 위치 차이에 대한 상해 지표인데, 머리 속도와 관계있는 후방간격과 비교하였을 때, 머리지지대 높이는 선행연구와 다른 결과를 보였다. 이는 시험에 사용된 높이에 범위에서는 NIC(목 상해 기준) 값에 큰 영향을 주지 못한 것 같다.

각 노드에서 분기되는 방향을 살펴보면, 후방간격의 경우 첫 번째 분기에서 후방간격이 작아질 때 결괏값이 작아지는 결과가 나왔지만, 6번째 분기에서는 클 때 작아지는 결과가 나왔고, 머리의 높이의 경우 2번째 경우를 제외하고 모두 0에 가까워질 때 작아지는 결과로 나왔으며, 일부 예상과 다른 결과가 도출되었다.

위와 같이 탑승자의 목 상해에 관한 종속변수인 USF, UZF, NIC의 예측 모델을 분석했다. 자동차안전도평가 후방 충돌 목 상해 데이터를 기반으로 구성된 예측 트리모형을 통해, 목 상해를 낮추기 위해 후방간격이 작고 머리의 위치가 머리지지대 보다 낮게 위치하게 설계가 되면 낮은 상해 값을 얻을 수 있는 것을 확인했다. 하지만, 일부 하위노드에서는

분기 방향이 다르게 보이는 경향이 나타났으며, 수집한 좌석과 머리지지대의 타입은 결과에 크게 영향을 주지 못했다.

하위노드에서 경향이 다르게 나오는 경우를 살펴보면, 의사결정트리 모형에서 하위노드로 갈수록 정보량이 적은 경우가 나타난다. 의사결정트리 모형은 주어진 데이터로 그 자체로 모형을 만들기 때문에 하위 경향에서는 다른 경향이 나올 수 있다고 생각한다.

마지막으로, 상관관계 계수가 0에 가까운 두 트리 모델에 대해 분석하였다. T1 Acc의 경우 인체모형의 첫 번째 척추에서 측정되는 가속도로 몸통에 가까운 목 움직임에 대한 인체 상해지표다. 예측 산점도를 살펴보면 예측값은 실제 값과 비교하여 자세하게 분류되지 않는 것을 볼 수 있다. 특히 값이 큰 영역에서 정확히 예측하지 못하며, 전체적으로 예측 분류가 자세하게 이루어지지 않고 있다. 분기 순서를 보면, 머리 높이 변수가 가장 먼저 노드에서 분기되었고 그 다음으로 몸통 각도와 후방간격이 변수로 사용되었지만, 예측 결과는 좋지 않다.

상관계수 값이 낮지만 예측시 가장 먼저 분기된 값에 대해 살펴보면, 머리높이가 -13.5보다 작은 경우 작은 값이 나오게 첫 번째 변수에서 분류가 되었는데, 머리의 높이가 작으면 머리가 머리지지대 밑에 위치하여 머리지지대를 타고 올라가는 현상이 발생하지 않아 목 하단의 가속도 값이 작게 나온 것이라 본다.

두 번째 모형인 Nkm 트리모형의 경우도 상관계수가 0에 가까운 결과가 도출되었다. Nkm은 인체모형의 목 상해 합성지수로 목에 상단에 발

생하는 전단력에 관한 지표와 모멘트에 관한 지표를 합성한 값이다. [2] 예측 산점도를 보면 높은 값에서 예측을 잘하지 못했다. 값 자체가 단위가 없고, 한번 변환된 지표 두 변수를 합성한 값이기 때문에 단순한 독립변수로 예측이 어려울 것으로 생각된다. 특히 합성지수는 합성한 값 중 목에 부과되는 전단력과 모멘트의 발생 할 수 있는 네 가지 방향을 전부 고려하며, 이중 최대값으로 정해지는 값이다.

따라서, 합성지표는 4가지 방향의 목 거동에서 앞 뒤로 젖힘과 위와 아래로 당김에 전부 영향을 받는 복잡성과 합성된 지표로 예측이 어렵다.

제 2절 결론

1. 연구결론

본 연구는 연구원에서 수행된 2010년~2021년에 수행한 자동차안전도 평가 좌석안전성 시험의 시험 결과를 종속변수로 설정하였고, 기존 연구를 참고하여 좌석의 타입, 머리지지대의 타입, 착석 위치(머리, 몸통, 골반 각도, 머리 간격, 머리 높이)를 독립변수로 설정하였다. 좌석과 머리지지대의 타입을 포함한 모든 독립변수 데이터는 수치 데이터로 변환하였으며, 의사결정트리 분석방법의 특성을 이용하여 모든 독립변수를 함께 적용하여 예측분석 모델링을 수행하였다.

의사결정트리 모델로 예측한 인체 모형 상해 값에 주요하게 영향을 미치는 독립변수는 다음과 같다.

1) 머리와 머리지지대 간의 간격

머리와 머리지지대 간의 간격이 가까운 경우 인체 모형 상해 값이 낮게 나타나는 경향을 확인하였다.

2) 머리와 머리지지대 간의 높이

머리지지대의 높이는 머리가 머리지지대 보다 낮은 위치에 위치하는 경우에서 인체모형 상해 값이 작게 나오는 것을 확인할 수 있었다.

위와 같이 두 가지 주요 변수가 목 상해 평가 결과에 영향을 주는 것을 알 수 있었으며, 선행 연구의 결과와 유사한 결과를 보였다. 그리고 평가

결과에 영향을 줄 것으로 생각된 머리, 몸통, 골반각도는 영향이 작았으며, 머리지지대와 좌석의 타입은 큰 영향이 없음을 확인했다.

도출된 모델을 통해 자동차 안전 성능시험 조건으로 빠르고 간결하게 상해 결과를 분석 및 예측할 수 있었으며, 모델이 구성한 데이터의 순위를 파악하여 인체 상해 결과에 영향을 주는 요소의 중요도도 확인할 수 있었다. 아울러, 시각적 모델 제시를 통해 변수 간 상관관계 및 논리 흐름에 대한 설명이 가능하다. 이처럼 차량의 안전 사양에 대해 복합적인 상관관계와 중요도를 효과적으로 확인할 수 있는 모델을 구성하였다.

향후 본 연구의 예측 모델 결과가 평가기술 개선 등 세부적인 시험 절차 수립에 대해 도움을 주고, 탑승자의 안전을 위해 차량의 안전 성능을 개발하고 안전기준을 발전시키는 데 기여할 수 있을 것이라 기대한다.

2. 연구한계

본 연구는 기존의 시험데이터만을 활용하여 분석을 진행한 것이 연구의 한계로 생각된다. 연구 수행 시 사용한 독립변수인 좌석데이터와 착석데이터를 더욱 정밀하게 얻을 수 있다면, 보다 상관관계가 높은 트리모형을 만들 수 있을 것이다. 향후 탑승자 상해에 영향을 주는 요소에 대한 고민을 통해 데이터의 정밀도를 개선하고 다양하게 수집할 필요가 있다. 또한, 의사결정트리 분석모델은 시각적 논리 흐름을 설명하기에 용이하다는 장점이 있어 채택하였으나, 다음 연구에서는 보다 정확도가 높은 기계학습 모델 적용을 고려하면 예측의 정확성을 개선할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] 국토교통부 2010년-2021년 자동차안전도평가 결과

[2] 국토교통부 고시 제2022-305호 “「자동차안전도평가시험 등에 관한 기술규정」KNCAP TP-CS-7 좌석 안전성 시험방법 및 평가방법”

[3] 사고 통계 자료, 교통사고분석시스템, ”http://taas.koroad.or.kr“

[4] 이재완 “An Experimental Study of the Relationship between Seat Back Strength and Occupant Neck Injury in Rear End Collisions” 1998

[5] 자동차 및 자동차부품의 성능과 기준 시행세칙 [별표1] 7.머리지지대

[6] 자동차안전도평가 정보 “http://www.kncap.org”

[7] Barnsley, Les, Susan Lord, and Nikolai Bogduk. "Whiplash injury." Pain 58.3 (1994): 283-307.

[8] Boström, Ola, et al. "A new neck injury criterion candidate-based on injury findings in the cervical spinal ganglia after experimental neck extension trauma." Proceedings of The 1996 International Ircobi Conference On The Biomechanics Of Impact, September 11-13, Dublin, Ireland. 1996.

[9] Boström, O., and Anders Kullgren. "Characteristics of anti-whiplash seat designs with good real-life performance." Proc. IRCOBI Conf. 2007.

[10] Breiman, Leo, et al. Classification and regression trees. Routledge, 2017.

[11] Brett Lantz, “R을 활용한 머신러닝 3th edition” 윤성진, (주)크라스랩 공역

[12] Eriksson, Linda, and Anders Kullgren. "Influence of seat geometry and seating posture on NICmax and Nkm AIS1 neck

injury predictability." Proceedings of the International Research Council on the Biomechanics of Injury conference. Vol. 31. International Research Council on Biomechanics of Injury, 2003.

[13] Eriksson, Linda. "Influence of head restraint position on long-term AIS 1 neck injury risk." International Journal of Crashworthiness 10.6 (2005): 545-555.

[14] ECE/TRANS/180/Add.7/Amend.1 - Addendum 7: United Nations Global Technical Regulation No. 7 - Amendment 1

[15] Euro NCAP Whiplash Test Protocol v412

[16] BioRID-II 제원 "https://www.humaneticsgroup.com/"

[17] Ikari, T., et al. "Japan new car assessment program for minor neck injury protection in rear-end collisions." Proceedings: International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Vol. 2009. National Highway Traffic Safety Administration, 2009.

[18] Moorhouse, Kevin, et al. "Evaluation of the internal and external biofidelity of current rear impact ATDs to response targets developed from moderate-speed rear impacts of PMHS." Stapp car crash journal 56 (2012): 171.

[19] Pratap Dangeti, "머신러닝과 통계", 이병욱 역

[20] Quinlan, J. Ross. "Induction of decision trees." Machine learning 1.1 (1986): 81-106.

[21] R 4.1.3 "Recursive Partitioning and Regression Trees Package"

[22] Trevor Hastie er A "The elements of Satistical Learning Second Edition" 2009

[부록] 국내외 목 상해 관련 평가항목 현황

Whiplash Test	GTR7-ph2	KNCAP	scoring	IIHS	scoring	EURONCAP (Mid)	scoring	EURONCAP (High)	scoring	JNCAP	scoring
Contact time (ms)	-	57-82	max(1.5-0)	>70	reduce 1 level	-		-		-	-
T1 acceleration (g)	-	9.30-13.10		>9.5	reduce 1 level	<15.55>		<17.80>		-	-
T-HRC start (ms)	-	-	-	-	-	<92.00>		<92.00>		-	-
NIC(m2/s2]	25	11.00-24.00	1.5-0	-	-	11.00-24.00<27.00>	1-0	13.00-23.00<25.50>	1-0	8.00-30.00	(4-0)*1
Nkm	-	0.15-0.55	1.5-0	-	-	<0.69>		<0.78>		-	-
Rebound velocity	-	3.20-4.80	1.5-0	-	-	<5.20>		<6.00>		-	-
Upper Neck Shear Fx (+ve) (N)	360	30-190	1.5-0	-	-	30.00-190.00<290.00>	1-0	30.00-210.00<364.00>	1-0	340-730	Min(4-0)*2
Upper Neck Shear Fx (-ve) (N)	-	-		-	-	<360.00>		<360.00>		340-730	
Upper Neck Tension Fz (N)	-	360-750	1.5-0	-	-	360.00-750.00<900.00>	1-0	470.00-77.00<1024.00>	1-0	475-1130	
Upper Neck Extension My (kN)	30	-	-	-	-	<30.00>		<30.00>		12-40	
Upper Neck Flexion My (kN)	30	-	-	-	-	<30.00>		<30.00>		12-40	
Lower Neck Shear Fx(ABS) (N)	[monitor]	-	-	-	-	<360.00>		<360.00>		340-730	
Lower Neck Tensile load (N)	-	-	-	-	-					257-1480	
Lower Neck Extension My (Nm)	30	-	-	-	-	<30.00>		<30.00>		12-40	
Lower Neck Flexion My (Nm)	30	-	-	-	-	<30.00>		<30.00>		12-40	
Seatback Deflection (mm)	-	-	-	-	-	-		<32.00>		-	-

[표 6] 국내외 주요 목 상해 평가 항목

Abstract

A Study on Predicting Occupant Whiplash Neck Injury in a rear-end collision Using Decision Tree Model

Jun Gue Kwak
Department of Engineering Practice
Graduate School of Engineering Practice
Seoul National University

Automobile are an essential element in our lives. Although the number of automobile accident deaths in Korea is decreasing every year, the rate is still high among OECD countries, and efforts to reduce safety accidents are continuously needed. In order to improve the safety level of automobiles, the Korea Automobile Testing & Research Institute is implementing the Korea New Car Assessment Program that can verify automobile safety performance with objective numerical values.

This study predicts and analyzes the results according to the test

conditions based on the neck injury safety evaluation test data of the KNCAP. Through the safety evaluation results that have been continued for many years, we want to confirm the factors that affect vehicle safety and the importance of each factor. This study used the collected data of the low-speed rear crash neck injury safety evaluation conducted so far, and set 7 test conditions as independent variables through an investigation of previous studies.

A decision tree model capable of visual and logical explanation was selected as a machine learning model for analysis prediction, and analysis was performed by selecting a regression tree algorithm method according to the type of data collected. The data were randomly divided for predictive analysis, and 5 out of 7 significant models were identified.

As a result, among the factors that affect human injury, the position of the dummy's head, the head backset, had the greatest effect, followed by the height of the head, and the angle of the dummy's pelvis in that order. In addition, the vehicle seat type and head restraint type, which were one of the independent variables, did not affect the analysis. Through the study, it was confirmed that the position of the occupant's head is an important variable in a rear-end collision, and that it is necessary to keep the head close to the head restraint when driving in a vehicle for neck injury safety.

keywords : KNCAP, rear-end collision, Whiplash, Decision Tree
Student Number : 2021-23835