

k-means clustering DB를 통한 Multi-cell headrest의 상해지수 간 상관관계 분석

조성욱* · 전성식*†

Correlation Analysis between Injury Index of Multi-cell Headrest through k-means Clustering DB

Sungwook Cho*, Seong S. Cheon*†

ABSTRACT: The development of transportation methods has improved human transportation convenience and made it possible to expand the travel radius of people with disabilities who have difficulty moving. However, in the case of WAV (wheelchair Accessible Vehicle), the safety that may occur in a vehicle accident is still lower than that of regular passenger seats. In particular, in the case of a rear-end collision that may occur in a defenseless situation, it can cause fatal neck injuries to disabled passengers. Therefore, a more detailed design plan must be reflected in the headrest to be applied to WAV. In this study, a multi-cell headrest was proposed to implement local compression characteristic distribution of the headrest during rear-end collision of WAV. Afterwards, a correlation analysis was performed between the passenger's NIC (Neck Injury Criterion) and impact energy absorption using the data set construction through analysis and the clustering results using k-means clustering. As a result of clustering, it was confirmed that data clusters with similar characteristics were formed, and a correlation analysis between NIC and impact energy absorption through the characteristics of each cluster was performed. As a result of the analysis, it was confirmed that the softer the cell compression characteristics in Mid3 and Mid6, the more impact energy absorption increases, and the harder the cell compression characteristics in Front2, Mid3, and Mid6, the more effective it is in reducing NIC.

초 록: 운송 수단의 발전은 인간의 교통 편의 증진과 더불어 이동이 불편한 장애인들의 이동 반경 확대를 가능하게 하였다. 그러나 휠체어 탑재 차량의 경우 차량 사고 시 발생할 수 있는 안전성은 일반 승객 좌석에 비해 여전히 낮다. 특히 무방비 상태에서 발생할 수 있는 후방 추돌 사고의 경우 장애인 탑승객의 목 부상에 치명적으로 작용할 수 있다. 따라서 휠체어 탑재 차량에 적용될 headrest에는 보다 세밀한 설계안이 반영되어야 한다. 본 연구에서는 휠체어 운송 차량의 저속 후방 추돌 시 headrest의 국부적 압축 특성 분포 구현을 위해 multi-cell headrest가 제안되었다. 이후 해석을 통한 데이터셋 구축과 k-means clustering을 적용한 군집화 결과를 이용해 탑승객의 목 상해지수와 충격 에너지 흡수량 간 상관관계 분석이 수행되었다. 군집화 결과 유사한 특성을 지닌 데이터 군집이 형성된 것을 확인하였으며, 각 군집의 특성을 통한 목 상해지수와 충격 에너지 흡수량 간의 상관관계 분석이 수행되었다. 분석 결과 Mid3와 Mid6에서의 cell 압축 특성이 soft할수록 충격 에너지 흡수량이 증가하는 것을 확인하였으며, Front2, Mid3, Mid6에서의 cell 압축 특성이 hard할수록 목 상해지수 감소에 효과적임을 확인하였다.

Key Words: 후방 추돌(Rear-end collision), Multi-cell headrest, NIC(Neck Injury Criteria), k-means clustering

1. 서 론

교통수단의 발전은 휠체어 탑승객과 같은 거동이 불편한 장애인들의 생활권 확대에 많은 기여를 하였으며, 여기에는 휠체어 탑재 차량인 WAV(Wheelchair Accessible Vehicle)의 역할이 크게 작용하였다고 할 수 있다[1]. WAV 내부에 휠체어와 함께 탑승한 장애인들은 운행 중 휠체어 탑승객의 안전을 위해 설치된 구조물을 통해 차량과 휠체어 간의 구속, 장애인 탑승객과 차량 간의 구속이 이루어지게 된다[2]. 이러한 구속은 차량 운행 중 발생할 수 있는 휠체어의 불안정한 거동을 최소화해줄 수는 있지만 상대적으로 탑승객의 목과 머리의 거동을 최소화해주는 못한다. 실제 WAV 내부 휠체어 탑승객을 위한 headrest 설치는 미비 된 경우가 많으며, 이는 곧 차량 후방 추돌 시 장애인 탑승객의 머리와 목 부상을 심각하게 유발할 수 있는 요인이 된다. 더불어 차량 후방 추돌 시 가장 민감하게 반응하는 신체 부위는 목으로 해당 부위의 부상은 headrest가 기본으로 장착되어 있는 일반 승객용 좌석에서 조차 자주 발생하는 주요 상해 부위이다[3]. 이에 일반 승객좌석이 아닌 휠체어 탑승객을 대상으로 하는 headrest의 안전성 개선을 위한 연구가 다양하게 진행되고 있다. Karg 등[4]은 휠체어에 장착 가능한 headrest에 후두부 충격이 가해졌을 때, headrest의 내구성을 결정하는 방법론을 제안하였고 다양한 상용 headrest를 평가하여 제시한 방법론의 효율성을 보였다. Simms 등[5]은 surrogate 휠체어에 더미를 탑승 시켜 저속 후방 추돌 sled test를 실시하였고 목 상해지수를 headrest 유무에 따라 비교 분석하였다. Hamzah 등[6]은 특정 장애 아동에게 적용되는 headrest의 형상 변수에 따른 충격 하중의 영향을 결정하기 위한 해석을 수행하였다. Fuhrman 등[7]은 휠체어에 소아 더미를 탑재하여 저속 후방 추돌 sled test를 실시하였고 상업용 headrest가 두부와 목 상해개선에 미치는 영향을 평가하였다. 앞선 문헌조사를 통해 저속 후방 추돌 시 주요 부상 부위인 목 상해를 개선하기 위해서는 headrest가 장애인 탑승객의 머리와 목을 안정적으로 지지하도록 설계되어야 하며, 장애 유형과 휠체어의 종류에 따라 headrest 자체의 형상이 맞춤형으로 제작될 수 있어야 한다. 이를 위해서는 후두부 충격 시 headrest 각 부위에서의 압축 특성에 대한 세밀한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 저속 후방 추돌에 의한 장애인 탑승객의 후두부가 headrest를 충격하였을 때, headrest의 국부적 압축 특성 분포가 headrest의 충격 에너지 흡수량과 탑승객의 목 상해지수에 미치는 영향을 분석하고자 headrest의 국부적 압축 특성을 각기 다르게 구현할 수 있는 multi-cell headrest 형상이 제안되었다. 이후 각 cell에 서로 다른 압축 특성이 랜덤하게 적용된 유한요소모델의 생성과 생성된 모델을 mini sled test에 적용한 해석이 진행됐으며, 도출된 해석결과를 바탕으로 데이터셋이 구축되었다. k-means clustering

을 통해 구축된 데이터의 군집화가 수행되었으며, 형성된 각 군집 결과를 바탕으로 multi-cell headrest의 각 cell의 압축 특성 분포에 따른 충격 에너지 흡수량과 목 상해지수 간의 상관관계 분석이 수행되었다.

2. 유한요소해석과 Injury criterion

2.1 Multi-cell headrest의 형상과 특성

Multi-cell headrest의 베이스 형상은 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)에서 제공하는 2010 Toyota Yaris Passenger sedan의 조수석 쪽 headrest FE모델이 적용되었으며, 해당 headrest 형상은 무게중심에서 X, Y, Z 면을 등간격으로 하여 총 24개의 cell로 분할되었고 각각 개별적인 part로 구성되었다. Fig. 1은 multi-cell headrest가 인체모형의 시상면 기준으로 대칭인 것을 나타내며, 해당 대

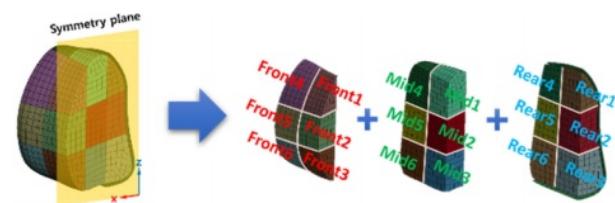
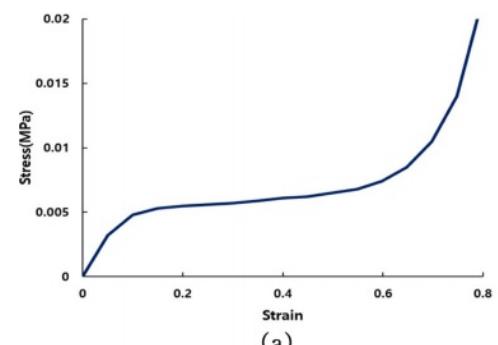
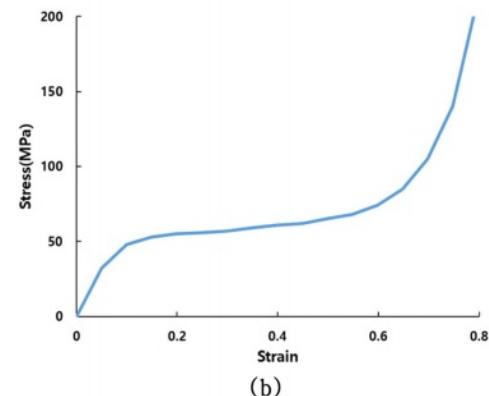


Fig. 1. Section and structure of multi-cell headrest



(a)



(b)

Fig. 2. Compression stress-strain curves of headrest foam: (a) Soft, (b) Hard

칭면을 기준으로 총 18개의 분할된 cell 형상으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 생성된 multi-cell headrest는 Fig. 1에서와 같이 후두부와 가장 가까운 면에서부터 Front, Mid, Rear 순으로 구성되고 각각의 cell에는 headrest foam의 압축 특성이 랜덤으로 배치되게 된다. 이때 배치될 수 있는 압축 특성의 전체 조합의 수가 곧 생성되게 될 데이터의 개수가 되며, 유한요소해석 시간을 고려한 충분한 데이터 확보를 위해 각 cell에 랜덤 적용될 foam의 압축 특성은 soft와 hard로 선정되었다. 해당 특성에는 선행 연구[8]에서 압축 시험을 통해 도출된 headrest foam의 압축 응력-변형률 선도가 적용되며, soft와 hard한 압축 거동 구현을 위해 적용된 선도의 응력값에 10^4 만큼 stress scale factor가 적용되었다. Fig. 2(a)는 soft한 압축 특성을 나타내며, Fig. 2(b)는 hard한 압축 특성을 나타낸다. 마지막으로 Rear에 위치한 cell은 후두부 충격 시 상해지수에 미치는 영향도가 가장 낮게 도출되어 해당 cell에는 hard한 압축 특성으로만 배치되게 되었다[8].

2.2 Mini sled test analysis

저속 후방 추돌 해석에 적용될 더미는 Hybrid III 50th percentile male dummy가 적용되었으며, 데이터 구축 효율성 향상을 위해 Fig. 3에 제시되어 있는 neck angle bracket에서 머리 까지의 FEM모델만을 적용하여 mini sled test[9] 해석이 수행되었다. mini sled test 해석에 적용될 저속 후방 추돌 가속도 생성을 위해 우선 전체 더미 모델이 탑재된 휠체어 모델에 FMVSS 202a dynamic testing corridor[10]를 만족하는 저속 후방 추돌 펄스(16 km/h, 9.0 g)를 부여하여 선행 sled test 해석이 수행되었으며, 이후 neck angle bracket에서 추출된 저속 후방 추돌 가속도가 mini sled test에 적용되었다.

2.3 Injury criterion

후방 추돌 시 탑승객의 목 부위에서 갑작스러운 회전 운동이 발생하게 되는데, 이는 곧 목의 편타성 손상(Whiplash injury)을 유발하며, 목의 연조직(soft tissue) 손상에 영향을 미치게 된다. 이러한 목 부상 정도를 예측하는 대표적인 지표가 NIC(Neck injury criterion)이다[11]. 해당 상해지수는

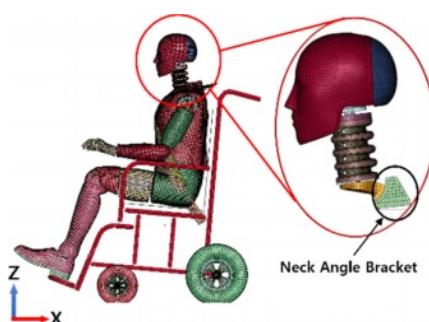


Fig. 3. Head to neck angle bracket model for mini-sled test

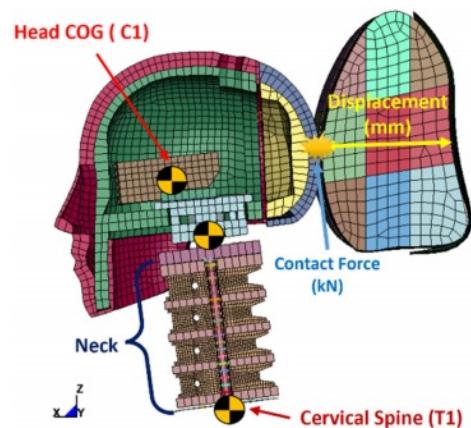


Fig. 4. Section of analysis model

Fig. 4에서와 같이 머리무게중심(C1)과 흉추골(T1) 사이의 상대적인 가속도 차이에 따른 경추 압축 부상 가능성에 대한 지표로 식 (1)에 의해 산출된다. 여기서 식 (2)는 머리무게중심과 흉추골 사이의 상대가속도를 나타내며, 식 (3)은 상대가속도를 상대속도로 변환한 것을 나타낸다. 상수 0.2는 일반적인 목의 길이(0.2m)를 의미한다. 따라서 데이터 셋 구축을 위한 mini sled test 해석이 진행될 때마다 위 식에 근거하여 최대 NIC가 도출되며, 각 cell에 부여된 압축 특성 분포에 따른 후두부의 multi-cell headrest 충격에 의한 압축 깊이와 contact force가 충격 에너지 흡수량 계산을 위해 추가로 추출되었다.

$$NIC = 0.2 \times a_{rel}(t) + [v_{rel}(t)]^2 \quad (1)$$

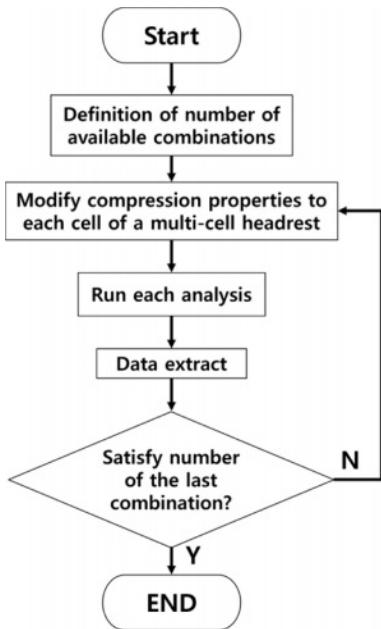
$$a_{rel}(t) = a_{T1}(t) - a_{C1}(t) \quad (2)$$

$$v_{rel}(t) = \int a_{rel}(t) dt \quad (3)$$

3. k-means clustering을 통한 상해지수 간 상관관계 분석

3.1 데이터셋 구축

데이터셋 구축을 위해 Fig. 5에서와 같은 흐름으로 구동되는 데이터셋 생성 프로그램이 Python을 통해 개발 및 적용되었으며, multi-cell headrest의 각 cell에 적용될 수 있는 압축 특성 분포의 가용 조합 생성 및 적용, mini sled test 해석 수행, 데이터 추출 순으로 실행되게 된다. 먼저 프로그램이 실행되면 각 cell에 soft와 hard한 압축 특성을 나타내는 stress scale factor가 총 12개의 cell(Front와 Mid 각 6개)에 부여될 수 있는 전체 가용 조합이 생성되게 되며, 이때 생성된 총 조합의 개수는 4,096개로 전체 해석 시 소요되는 computing time을 고려하여 2,048개의 조합이 랜덤으로 추

**Fig. 5.** Flowchart of building a dataset

출 및 적용되게 된다. 추출된 조합은 mini-sled test해석에서 각 cell의 압축 특성에 할당되게 되고 LS-DYNA를 통해 곧 바로 해석 수행이 이루어지게 된다. 해석이 완료되면 각 cell에 적용된 12개의 압축 특성과 3개의 해석 결과로 총 15개의 특성이 하나의 데이터를 형성하게 된다.

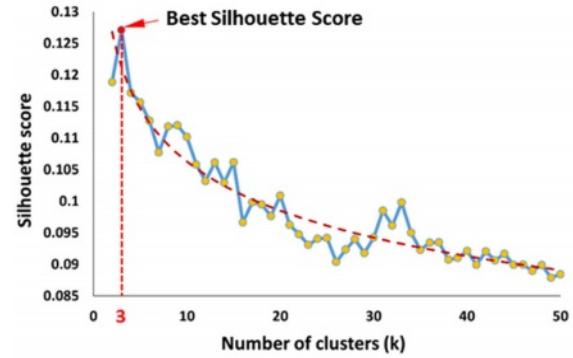
3.2 k-means clustering의 적용

k-means clustering은 데이터를 k개의 군집으로 그룹화하는데 적용되는 비지도 학습(Unsupervised learning) 알고리즘이다. 먼저 핵심 진행과정으로 각 군집의 중심(centroid)이라고 불리는 포인트로 특징 지어지며, 각 데이터 포인트는 가장 가까운 중심에 할당되게 된다[12]. 이때 식 (4)와 같이 유clidean 거리를 통해 데이터와 데이터 사이의 거리가 최소가 되도록 계산이 수행되며, 해당 식에서 $d(c_i, x_j)$ 는 중심 c_i 와 데이터 포인트 x_j 간의 거리, n 은 데이터 특성(Feature) 개수, c_{ik} 와 x_{jk} 는 각각 중심 c_i 와 데이터 포인트 x_j 의 k번째 특성 값, i 는 군집의 인덱스를 의미한다.

$$\text{argmin}_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n (c_{ik} - x_{jk})^2} \quad (4)$$

이후 각 데이터 포인트와 centroid 사이의 거리 값에 따른 군집 할당이 수행되면 centroid 업데이트가 실행되며, 새로운 군집 중심 c_i 는 식 (5)를 통해 해당 군집에 속한 데이터 포인트들의 평균으로 계산되게 된다. 여기서 P_i 는 군집 i 에 속한 데이터 포인트의 집합, $|P_i|$ 는 군집 i 에 속한 데이터 포인트의 수를 의미한다.

$$c_i = \frac{1}{|P_i|} \sum_{x_j \in P_i} x_j \quad (5)$$

**Fig. 6.** Silhouette score based on number of clusters

각 군집의 centroid의 위치가 한 곳으로 수렴될 때까지 앞선 식 (4)와 식 (5)가 반복적으로 수행되며 군집이 형성되게 된다. 반면 이러한 군집화 수행을 위해서는 초기에 사용자가 군집 개수를 의미하는 k 를 설정해야만 한다. 이에 본 논문에서는 군집 평가 계수를 군집별로 가시화할 수 있고 보다 직관적이며 정확하게 평가할 수 있는 실루엣 기법[13]을 통해 최적의 k 값을 도출하였다. 평가는 식 (6)을 통해 이루어지고 해당 식의 S_i 는 데이터 포인트 i 의 실루엣 계수이고 a_i 는 현재 속한 군집에서 데이터 간의 평균 거리, b_i 는 현재의 군집 다음으로 가까운 군집 샘플 간의 평균 거리를 의미한다.

$$S_i = \frac{b_i - a_i}{\max(a_i, b_i)} \quad (6)$$

식 (6)을 통해 계산된 각 데이터들의 S_i 는 다시 $\text{mean}(S_i)$ 로 최종 산출되며, 산출된 해당 평균 실루엣 계수가 1에 가까울수록 군집이 잘 형성되었다 할 수 있다. 본 논문에서는 적절한 k 값 선정을 위해 2~50개의 군집 평가가 수행되었다. 결과는 $k = 3$ 에서 실루엣 계수가 0.126으로 최대값을 나타내었으며, 이후 군집 수가 증가할수록 실루엣 계수가 확연히 감소하는 것을 Fig. 6을 통해 알 수 있다. 여기서 실루엣 계수가 0에 가까워진다는 것은 군집 간의 거리와 군집 내의 거리가 비슷하다는 것을 의미하며, 군집화가 잘 수행되지 않았거나 데이터가 명확한 패턴으로 구분되지 않은 것으로 해석될 수 있다. 이는 곧 군집의 품질이 낮다는 것을 의미한다.

이후 $k = 3$ 일 때의 군집 분포 결과를 가시화하기 위해 가장 대표적인 차원 축소 알고리즘인 PCA(Principal Component Analysis)가 수행되었다. PCA는 각 데이터에 가장 가까운 초평면(Hyperplane)을 구한 다음, 모든 데이터를 이 초평면에 투영(Projection)시키는 방식으로 차원 축소를 수행하게 된다. 이때 분산이 커야 데이터들 사이의 차이점이 명확해지기에 전체 데이터들의 분산이 최대가 되는 축을 찾게 되며, 이후 이 첫번째 축에 직교하고 남은 분산을 최대한 보조하는 두번째 축을 찾는다. 이를 통해 15차원을 나타내는

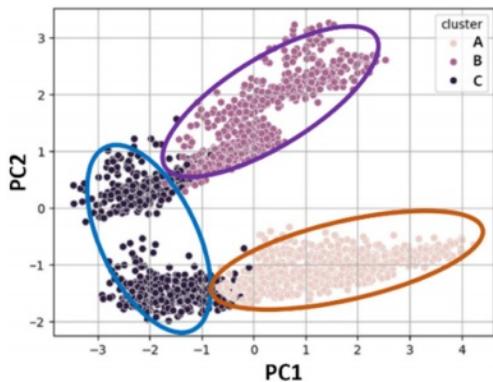


Fig. 7. Clustering visualization through PCA

Table 1. Data distribution results by cluster

Cluster	Number of data
A	753 (36.77%)
B	718 (35.06%)
C	577 (28.17%)

데이터의 15개 특성이 2차원으로 축소되어 군집 분포 가시화가 수행되었다. 가시화 결과는 Fig. 7과 같으며, 여기서 가로축은 분산이 가장 큰 축인 PC1을 의미하고 세로축은 두 번째로 분산이 큰 축인 PC2를 의미한다. 형성된 각 군집의 데이터 분포는 Table 1에 나타나 있으며, A와 B군집이 각각 36.77%, 35.06%로 데이터의 개수가 C군집 대비 상대적으로 균등하게 분포되어 있고 C군집은 28.17%로 데이터의 수가 가장 적게 분포되었다. 또한 C군집의 분포 형상은 A와 B군집과 달리 중간에 끊어져 있는 것을 알 수 있다. 이는 고차원 데이터를 저차원으로 축소하게 될 때, 데이터 고유의 분포 특성에 따라 선정된 주축과 그에 따른 투영에 기인한 결과라 할 수 있다.

3.3 압축특성 분포에 따른 상해지수 간 결과

A, B, C 각 군집과 압축 깊이, contact force를 통한 충격에너지 흡수량 그리고 최대 NIC 간 비교 분석 수행을 위해 각 개별 군집에 속한 모든 해당 해석 결과 데이터들의 평균값이 적용되었다. 먼저 저속 후방 추돌 시 후두부에 의한 multi-cell headrest의 압축 깊이에 대한 결과는 Fig. 8(a)와 같으며, 각 군집의 평균 압축 깊이는 A군집이 12.87 mm, B군집이 7.31 mm, C군집이 22.6 mm로 C군집에서의 multi-cell headrest의 압축 특성 조합이 가장 깊게 압축된 것을 알 수 있다. Fig. 8(b)는 후두부와 multi-cell headrest 간의 최대 contact force를 나타내며, A군집이 0.63 kN, B군집이 0.47 kN, C군집이 0.38 kN으로 C군집이 가장 낮게 기록된 것을 알 수 있다. Fig. 8(a)와 Fig. 8(b)를 통해 도출된 충격 에너지 흡수량은 A군집이 8.1J, B군집이 3.44J, C군집이 8.6J로 Fig. 8(c)

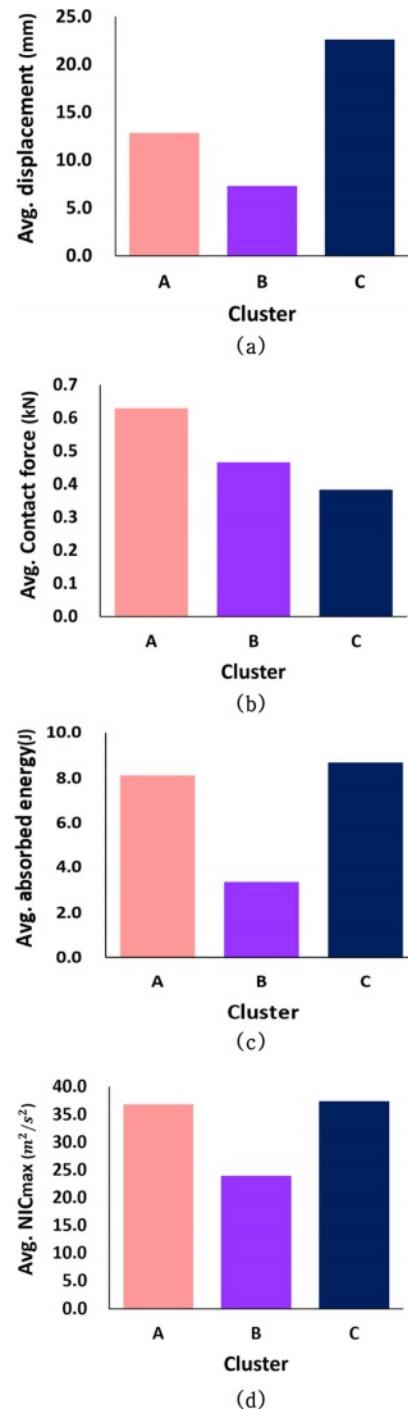


Fig. 8. Average according to each cluster: (a) average displacement, (b) average contact force, (d) average absorbed energy, (d) average NIC_{max}

와 같이 나타났으며, C군집에서의 압축 특성 조합이 후두부로부터의 충격을 가장 많이 흡수하였다는 것을 알 수 있다. Fig. 8(d)는 최대 NIC를 나타내며, A군집에서 36.82 m²/s², B군집에서 23.96 m²/s², C군집에서 37.43 m²/s²으로 B군집에서의 값이 가장 낮게 기록되었고, C군집에서는

가장 크게 기록되었다. NIC가 크게 도출되었다는 것은 저속 후방 추돌 시 목과 경추의 상대운동이 크게 발생하였다는 것을 나타낸다. 이는 후두부에 의한 충격은 잘 흡수하였지만, A와 B군집 대비 상대적으로 C군집이 soft한 압축 거동을 나타내어 목의 신전이 크게 발생하게 된 결과인 것을 알 수 있다.

다음으로 각 cell의 soft와 hard한 압축 특성 비율을 통해 A, B, C 각 군집이 나타내는 multi-cell headrest의 압축 특성 분포에 대한 분석이 수행되었다. 여기서 각 cell에서의 명확한 압축 특성 차이와 세밀한 비교를 위해 두 특성 간 비율의 차가 10% 이상인 cell만이 고려되었다. 먼저 A군집의 각 cell의 우세한 압축 특성 비율은 Fig. 9(a)와 같으며, Front2에서 soft한 압축 특성이 100%로 우세하게 나왔으며, Mid3와 Mid6는 각각 hard가 66.27%, 66.93%로 서로 거의 유사하게 분포된 것을 알 수 있다. 반면 B군집의 경우 Fig. 9(b)와

같이 Front2에서의 hard한 압축 특성이 100%로 나타났으며, 나머지 Mid3, Mid4, Mid6 역시 hard한 압축 특성이 각각 72.56%, 56.13%, 65.88%로 우세하게 기록되었다. 마지막으로 Fig. 9(c)의 C군집은 Mid3와 Mid6에서 soft한 압축 특성이 각각 94.80%, 88.91%로 가장 우세하게 나타났으며, Mid1과 Mid4에서는 soft한 압축 특성이 각각 57.37%, 57.02%로 거의 유사하게 분포된 것을 알 수 있다. 앞선 Fig. 8과 Fig. 9의 결과를 통해 충격 에너지 흡수량은 Mid3와 Mid6가 soft한 압축 특성을 나타낼 때 효과적임을 알 수 있고, NIC개선에는 Front2, Mid3, Mid6에서의 압축 특성이 hard할 수록 효과적임을 알 수 있다. 여기서 NIC의 경우 Fig. 9(a)와 Fig. 9(b)의 비교를 통해 Front2에서의 명확한 압축 특성 차이가 나타나는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 Front2에서의 압축 특성이 NIC의 결과에 더욱 민감하게 반응하는 요인으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 k-means clustering을 통해 WAV 내부 훨체어 탑승객이 저속 후방 추돌 상황에 처했을 시 multi-cell headrest의 국부적 압축 특성 분포가 후두부 충격에 의한 압축 깊이, contact force, 이를 통한 후두부 충격 에너지 흡수량 그리고 NIC 간에 미치는 상관관계 분석을 제시하였다. 이를 위해 multi-cell headrest의 각 cell의 압축 특성이 각기 다르게 분포될 수 있도록 유한요소모델이 구축되었다. 개발된 데이터셋 생성 프로그램을 통해 multi-cell headrest 모델이 mini sled test에 적용되어 유한요소해석이 수행되었고 도출된 해석 결과를 통해 데이터셋 구축이 수행되었다. 이후 실루엣 군집 평가를 통해 k-means clustering에 적용될 k 값 선정과 군집화가 수행되었으며, 이를 통해 최적의 데이터 군집이 형성될 수 있었다. 형성된 개별 군집과 저속 후방 추돌 해석 결과 간 비교 분석이 수행되었으며, 최종적으로 개별 군집이 의미하는 각 cell의 우세한 압축 특성 분포에 따른 충격 에너지 흡수량과 NIC 간 상관관계 분석이 성공적으로 수행되었다. multi-cell headrest의 충격 에너지 흡수량과 NIC는 서로 상반된 성향을 나타내며, 해당 함수들은 headrest의 형상 설계 시 주요 목적함수로 적용될 수 있다. 이때 위 두 함수를 다목적 함수로 하는 Topology optimization이 수행될 수 있으며 이를 통해 적절한 제약 조건(체적과 형상)을 만족하는 headrest의 설계가 가능할 것으로 사료된다. 그 결과 WAV의 훨체어 탑승칸과 같은 협소한 공간에 배치될 안전한 headrest 형상이 제시될 수 있을 것으로 기대되어진다.

향후 연구에서는 multi-cell headrest의 각 cell 형상 변수가 상해지수에 미치는 영향을 비교 분석하고, 이를 통해 더욱 세밀한 headrest 형상 최적 설계의 가능성을 제시할 것이다.

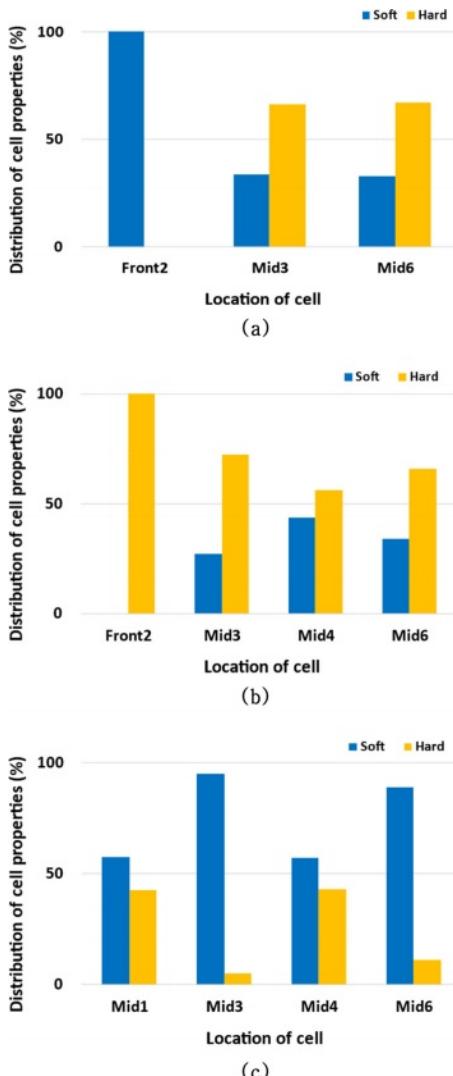


Fig. 9. Distribution of cell's properties in each cluster: (a) cluster-A, (b) cluster-B, (c) cluster-C

후 기

본 논문은 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행된 국가표준기술개발 및 보급사업임(K_G012001645503).

REFERENCES

1. Hassanpour, A., Bigazzi, A., and MacKenzie, D., "Equity of Access to Uber's Wheelchair Accessible Service," *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 89, 2021, 101688.
2. Oh, H.S., Kim, G.S., and Cheon, S.S., "A Study on the Analysis of Human Injury According to the Fixed Position of the Tie-down Type Wheelchair," *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, Vol. 19, No. 4, 2017, pp. 478-483.
3. *Traffic Accident Analysis System, 2023 Version Traffic Accident Statistical Analysis (2022 Statistics)*, (n.d.), 2003.
4. Karg, P. and Sprigle, S., "Development of Test Methodologies for Determining the Safety of Wheelchair Headrest Systems During Vehicle Transport," *Journal of Rehabilitation Research & Development*, Vol. 33, No. 3, 1996, pp. 290-304.
5. Simms, C., Madden, B., Tierman, J., and FitzPatrick, D., "Development of a Wheelchair Headrest for Rear Impact Protection," In *Proceedings of the International Research Council on the Biomechanics of Injury-2008 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Injury*, 2008, pp. 425-428.
6. Hamzah, S.R., Izmin, N.A.N., Tardan, G., and Abdullah, A.H., "Design and Analysis of Adjustable Headrest for Total Body Involvement Cerebral Palsy," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Vol. 8, No. 1, 2019, pp. 3208-3211.
7. Fuhrman, S.I., Karg, P.E., and Bertocci, G.E., "Effect of Wheelchair Headrest Use on Pediatric Head and Neck Injury Risk Outcomes during Rear Impact," *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 40, No. 4, 2008, pp. 1595-1603.
8. Cho, S., Ji, S., and Cheon, S.S., "Correlation Analysis between Wheelchair Multi-layer Headrest Foam Properties and Injury Index," *Composites Research*, Vol. 36, No. 4, 2023, pp. 253-258.
9. Song, D., Uriot, J., Trosseille, X., et al., Modelling and Analysis of Interactions between Occupant, Seatback and Headrest in Rear Impact. In: *Proceedings of the 1996 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*, Ireland: Dublin, 1996, pp. 165-185.
10. Street, S., "National Highway Traffic Safety Administration Laboratory Test Procedure for FMVSS No. 218," *Traffic Saf.* (218) (2006).
11. Schmitt, K.-U., Muser, M.H., and Niederer, P., "A New Neck Injury Criterion Candidate for Rear-End Collisions Taking Into Account Shear Forces and Bending Moments," *Technology*, 2001.
12. MacQueen, J., "Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations," *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Vol. 1, No. 14, 1967, pp. 281-297.
13. Rousseeuw, P.J., "Silhouettes: A Graphical AID to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 20, 1987, pp. 53-65.