

One-Box Car 衝突 對備 車體 構造

Body Structure for the Front Impact of One-Box Car

朴 圭 煥*
Gyu Whan Park

1. 序 論

자동차의 대중화에 따른 교통량 증가로 복잡미묘한 형태의 교통사고 유발을 가져왔으며 이것을 방지하기 위한 수단, 즉 안전성을 확보하기 위한 연구분야가 자동차 기술개발중 높은 비중을 차지하게 되었고, 그 결과 자동차의 안전기술은 해마다 비약적으로 진보하여 사고예방, 충돌안전, 보행자 및 사고후의 대책등 각분야에 걸쳐 많은 발전을 하여왔다.

그러나 자동차의 안전대책은 자동차와 주변환경의 개선에 의해 사고요인을 줄이고 그 피해를 극소화 하는 것이 중요하다. 즉, 자동차의 안전은 차량, 사람, 환경으로 이루어진 TOTAL-SYSTEM의 조화된 대책을 필요로 한다. 더우기 최근 들어 Leisure 용으로 각광을 받고 있는 ONE-BOX CAR의 등장으로 운전자를 비롯한 사람에 대한 안전대책이 강조되고 있다.

본문에서는 자동차 안전대책중에서 ONE-BOX CAR의 前面衝突 安全對策에 대하여 개략적으로 소개하고자 한다.

2. 前面衝突 安全性的의 概要

전면충돌 안전성은 충돌시 차실의 변형을

방지, 생존공간을 확보하여 승원 상해를 극소화시키는 것이 목적이다.

교통사고 통계에 의하면 충돌사고의 80% 이상이 35km/hr 이하의 속도에서 발생하였으며 중상자의 50% 이상이 전면충돌시 상해를 입었다. 이를 토대로 MUSS 204 법규에서는 전면충돌 속도를 30 MPH(48.3km/hr)로 규제하고 있다.

충돌시 차실의 변형량을 예측하는 방법으로 충돌역학의 기본식이 사용되고 있다. 이를 정리하면,

차량 충돌에너지 = 자체 변형에너지

$$\frac{1}{2}MV^2 = F \cdot S \quad (1)$$

여기서, M : 차량 중량

V : 충돌직전의 속도

F : 평균 압축 하중

S : 자체 변형량

식(1)에서 충돌시 자체 변형량을 줄이려면 자체의 평균허용 압축하중을 크게 하여야 한다. 하중이 동적으로 가해지는 경우에는 정적으로 가해지는 경우보다 그 값이 크게 나타나는데 이들의 비율을 정동비라고 한다. 이 정동비(Dynamic factor : fd)는 충돌시 속도와 차체형상에 의해 좌우된다.

$$fd = 1.0 + 0.00668 V \quad (2)$$

* 기아자동차㈜ 중앙기술연구소

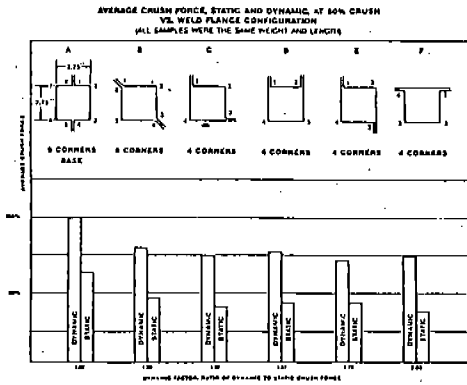


그림1 FRAME 형상별 정동비(속도 35 MPH)

식(2)는 차체형상 (FRAME 형상)이 닫힌 모 차형 일때에 유효하며 FRAME 형상별로 fd 를 나타내면 그림 1과 같다.

3. ONE-BOX CAR 前面衝突 對備 車體 設計

충돌 대비한 차체설계는 차체강도, 차체중량, 생산조건, COST 등 여러가지 요인이 상호 모순되는 영향을 주게 되므로, 차량 개발 계획단계에서부터 설계, 실험, 양산에 이르기까지 제반과정이 모두 중요하다.

3.1 현차량 충돌 TEST 실시 및 현황파악

MVSS 204 전면충돌은 30 MPH 속도로 충돌시 STEERING-COLUMN 최대 후방이동량을 5inch 로 규제하고 있으며 충돌속도 범위는 30.5 MPH~31.5 MPH로 보고 있다.

현차량 충돌 TEST시 충돌속도는 30.98 MPH로 STEERING-COLUMN 후방이동량이 4.67inch 로 나타났으며, 이를 충돌속도 최대치 31.5MPH에 대한 변형량 여유치로 환산하면 다음과 같다.

충돌역학 기본식에서

$$\frac{S_1}{V_1^2} = \frac{S_2}{V_2^2} \quad \frac{4.67}{(30.98)^2} = \frac{S_2}{(31.5)^2}$$

$$S_2 = 4.83 \text{ inch} = 122.7 \text{ mm}$$

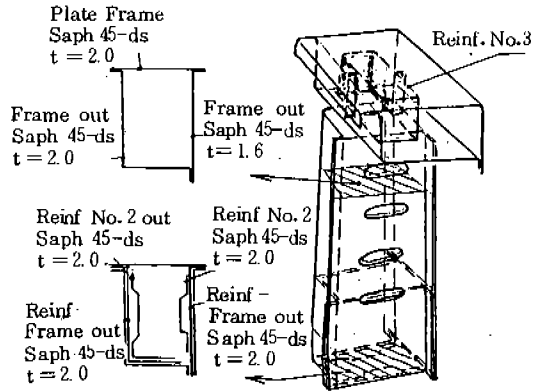


그림2 현차량 FRAME 형상 간략도

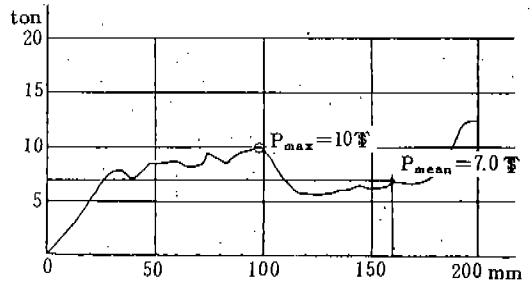
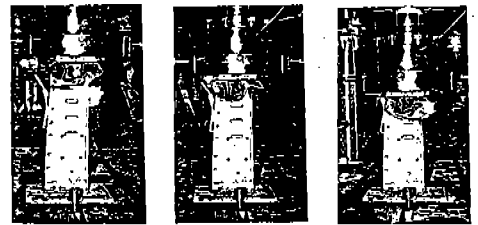


그림3 현차량 FRAME의 F-S 선도

따라서 변형량 여유치는

$$\delta = \frac{5 - 4.83}{5} \times 100 \approx 6\% \text{이다.}$$

충돌 에너지를 흡수하는 주요 차체 구조물인 FRAME의 강도는 정적 압축하중 TEST에서 알 수 있다. 현차량 FRAME의 강도를 파악하기 위하여 TEST를 실시한 결과 변형 상태가 FRAME 앞부분부터 순차적으로 일어나지 않아 평균 허용하중이 7 T로 낮게 나타났다. 현차량 FRAME 구조는 그림 2와 같으며, 정적 압축하중 TEST결과 나타난 F-S 선도는 그림 3과 같다.

충돌 TEST와 압축하중 TEST 결과 나타난 차체구조상 주요 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- ① FRAME 절곡부에 응력이 집중됨.
- ② FRAME 전단부가 Frt-PANEL 보다 후방에 위치하여 충돌시 차체변형량 심함.
- ③ FRAME 강도가 취약하여 에너지 흡수량 미흡.

3.2 차체 구조 보강안

충돌에너지를 흡수하는 차체구조물은 차량 전방부에 있는 FRAME, SUB-FRAME, BUMPER-REINF, 차체내·외판류 등으로 볼 수 있다. 이 구조물이 충돌규제를 만족시키기 위해서는 STEERING-GEAR BOX 이전부위, 즉 FRAME 앞부분에서 충돌에너지를 흡수할 수 있는 차체구조가 필요하다. FRAME 유형별 특성을 살펴보면 표 1과 같다.

설계시 주요 검토항목인 차체변형량 여유 목표치는 충돌속도 범위 (30.5 MPH~31.5

MPH)에서의 MARGIN 6.3%와 제품 품질 산포를 고려한 설계 MARGIN 10%를 감안, 총 MARGIN을 16.3%이상으로 하여야 한다.



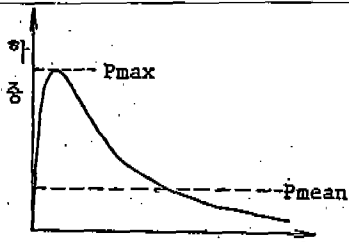
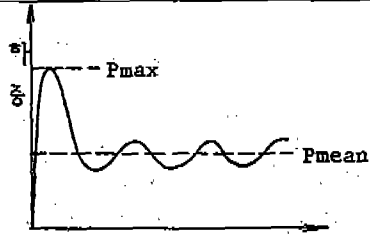
3.2.1 충돌에너지 흡수 FRAME 설정

주어진 구간에서 충돌에너지를 흡수하려면 단위 길이당 에너지 흡수율을 높일 수 있는 구조물이 필요하다. 이 구조물의 기본단면은 ACCORDION 변형에 의한 에너지 흡수율을 높이기 위해 폐단면화되어야 하며 길이 방향으로 하중을 받아야 한다.

그림 4는 에너지 흡수 FRAME 구조를 나타내며, 그림 5는 에너지 흡수 FRAME 부재의 정적 압축하중 TEST 결과 나타난 F-S 선도를 표시하고 있다.

소성변형중에 형상의 파괴는 BUCKLING에 의한 에너지 흡수효과를 10%정도 줄이므로 어떤 방법으로도 이를 방지해야만 한다. 또한 에너지 흡수율을 높이기 위해서는 단위 길이당 적절한 변형유도 주름을 주어 에너지 흡수가 점차적으로 이루어지게끔 하여야 한다.

표 1 FRAME 유형별 특성 비교표

항목 \ 유형	급 힘 형	압 축 형
변 형 MODE		 ACCORDION 형으로 변형.
특 성 곡 선		
비 고	<ol style="list-style-type: none"> 1. 변형량이 커질수록 하중 크기 감소 2. Pmean 낮다. 3. 흡수 ENERGY 적다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 변형량이 커져도 하중 크기는 거의 일정 2. Pmean 높다. 3. 흡수 ENERGY 많다. <p style="text-align: center;">↓</p> <p>충돌 특성을 향상시키기 위해 바람직한 변형 특성임.</p>

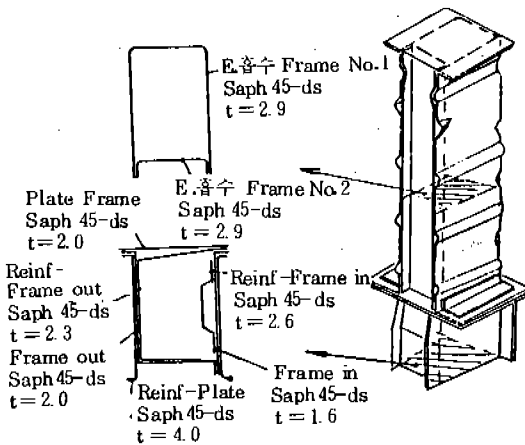


그림4 에너지 흡수 FRAME 형상 간략도

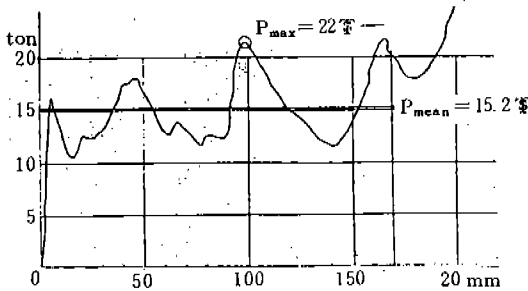
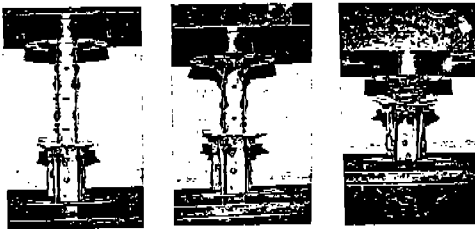


그림5 에너지 흡수 FRAME 부재의 F-S선도

부재의 변형시 흡수되는 에너지를 계산하기 위해 일반적으로 GERARD식과 OKUBO식이 쓰여지며, 변형에너지 산출은 BENDING 에너지와 ROLLING 에너지를 합하여 유출할 수 있다. 충돌대비 에너지 흡수 FRAME 형상은 OKUBO식을 기본으로 하여 VOLKWAGEN, TOYODA, MAZDA 차량구조를 참고로 하여 설정하였다.

3.2.2 FRAME의 기본구조

FRAME 구조는 ENERGY-ABSORPTION FRAME 과 MAIN-FRAME 과의 연결부,

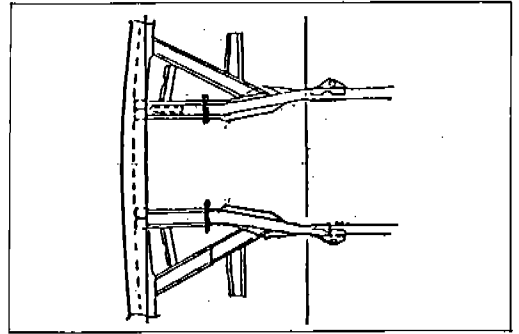


그림6 FRAME 기본구조 간략도

MAIN-FRAME 절곡 부위의 보강판, SUB-FRAME 등의 여러가지 구조물로 복잡하게 이루어져 있기 때문에 충돌에너지 흡수 목표치, 생산조건, 제품품질, COST 등을 고려하여야 한다.

일반적으로 전면충돌시 충돌에너지 70% 이상을 MAIN-FRAME에서 흡수하고 나머지 에너지를 기타 부위에서 흡수하며, 30° 사면충돌시 SUB-FRAME 이 충돌에너지 흡수에 기여하는 것으로 알려져 있다.

따라서 차체변형량 여유 목표치를 고려한 변형구간 내에서 충돌에너지의 70%를 MAIN-FRAME에서 흡수하고, 30°사면 충돌대비 SUB-FRAME에서 5~10%의 에너지를 흡수하도록 설계하였다.

그림 6에서 FRAME 기본구조의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

① 충돌시 E·A-FRAME 이 에너지를 충분히 흡수하게끔 MAIN-FRAME의 절곡부를 보강하여 MAIN-FRAME의 변형 시작하중을 25 T이상으로 유지한다.

② E·A-FRAME에서 충돌에너지의 70% 이상을 흡수하게끔 기본형상 및 단위길이에당 적절한 변형유도 주름을 설정하여, E·A-FRAME의 최대 변형 허용하중을 25 T이하로 하고 평균 변형 허용하중은 극대화시킨다.

③ E·A-FRAME과 MAIN-FRAME 연결 구조는 용접품질 산포를 피하기 위하여 BOLTING으로 연결한다.

④ 30° 사면 충돌을 대비하여 SUB-FRAME의 충돌에너지 흡수율을 5~10%로 유지한다.

3.3 차량 제작 및 충돌 TEST

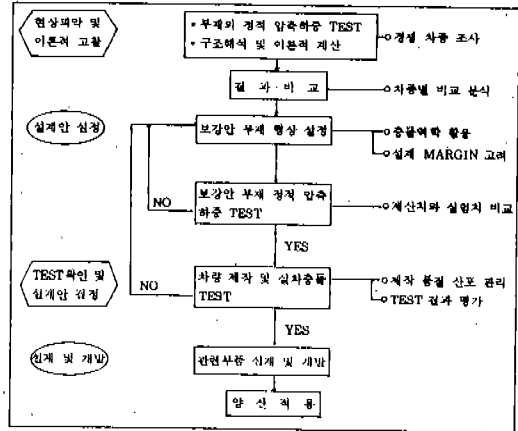
자동차는 복잡한 형상의 여러가지 부품으로 이루어져 있기 때문에 설계에서 제작에 이르기까지 각 단계별로 목표설정 및 그 달성을 위하여 심혈을 기울여야만 한다. 특히 충돌에너지 흡수 FRAME에서 설명한 바와 같이 충돌시 FRAME 형상 파괴는 에너지 흡수효율을 저하시키므로, FRAME 및 차체제작시 용접품질 기준에 의거 용접품질 관리를 철저히 하여 품질 산포를 극소화시켜야 한다.

충돌에 관한 고찰방법으로 이론에 의한 고찰, 부재의 정적 압축하중 TEST에 의한 고찰, 실차 충돌확인 TEST에 의한 고찰등이 있다. 이중에서도 실차 충돌확인 TEST는 설계 확인의 마지막 단계이므로 TEST 조건인 충돌속도 범위, 차량중량, 충돌방향등을 고려 신중하게 실시하여야 한다. 특히 규제치와 TEST 결과치간의 MARGIN을, 차체변형 진행상태 및 용접강도 등을 파악하여 설계목표와 부합되는지 비교 분석하여야 한다.

에 대한 설계목표치를 달성하였다. 현차량 및 보완차량의 전면충돌 TEST결과는 표 2와 같다.

표 3은 현차량의 현상파악에서 설계 및 양산에 이르는 차량 전면충돌 대책 검토수순을 나타내고 있다.

표 3 차량 전면충돌 대책 검토 FLOW



4. 前面衝突 TEST結果 分析

현차량 전면충돌 TEST결과 나타난 FRAME 절곡부 응력집중으로 에너지 흡수효율이 저하되는 문제 및 충돌방향이 30° 경사일 경우 에너지 흡수량이 미흡한 문제에 대하여 FRAME 절곡부에 보강판추가, E·A-FRAME을 FRAME 앞부위에 설치, SUB-FRAME 보강, FRAME 용접품질 향상등으로 전면충돌

5. 結 論

이상 개략적으로 충돌에 대비한 차체 측면에서 전면충돌 안전성의 개요, 대책 검토 단계별 고려사항, E·A-FRAME 적용 차량의 TEST결과분석에서 나타난 주요내용을 정리하면 다음과 같다.

① 충돌기본식 $\frac{1}{2}MV^2 = F \cdot S$ 에서 에너지 흡수율이 FRAME의 변형 평균 하중과 차체 변형량에 좌우된다.

② FRAME 형상은 굽힘형보다 압축형이 동일한 변형구간에서 월등한 충돌에너지를 흡수한다.

③ 압축형 FRAME의 에너지 흡수효과는 MAIN-FRAME의 버팀강도가 E·A-FRAME의 변형 하중보다 강해야만 그 효과를 충분히 얻을 수 있다.

앞에서 열거한 내용은 충돌안전 대책의 일부분에 지나지 않으며, 충돌안전성은 안전에 대한 사회적 요청이 고조되고 있는 이 시점에 규제만족이 아니라 인간존중의 의미로써

표 2 보완차량 전면충돌 TEST결과 DATA

항 목	현차량	보완차량	개선효과
FRAME Pmean(噸)	7.0	15.2	117%↑
FRAME 변위량(mm)	160	170	6.25%↑
흡수 E / 충돌 E (%)	30	70	133%↑
차량중량(kg)	1,610	1,625	1%↓

인식되어져야 한다. 충돌안전 대책 검토 FL-OW에 의한 TRIAL & ERROR를 통하여 충돌안전성에 대한 종합적인 연구가 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 왕영남, "자동차의 안전 및 각국의 안전법규", 자동차 공학회지, 1983.
2. 김호명, "VAN 차량의 충돌대책", 기아 기술정보 발표자료, 1987.
3. 백장현, "COACH 차량의 충돌대책", 기아 기술자료, 1988.
4. M. Rauser, "Energy absorption of Passenger Car body Structures made of Steel and Aluminum".
5. H.Götz, W.Schwede and M.Müller, "Design rules for Structural Safety of Passenger Car bodies".
6. SAE Paper 740040 Y.Ohkubo, T.Akamatsu, and K.Shirasawa: "Mean Crushing Strength of Closed-hat Section Members".

알

림

본 학회에서는 회원 여러분의 소중한 기사 원고와 연구 논문을 기다리고 있습니다. 많은 투고를 부탁드립니다.

- 기사 원고 : 학회지 기사 원고 투고료는 다음같이 산정하여 드립니다.

학회지 쪽당 (인쇄된 상태) 16,000 원이며 그림도 포함됩니다.

단, 인쇄상 발생하는 여백은 쪽 합산에서 제외됩니다.

- 논문 원고 : 학회지 논문 게재료는 다음같이 산정하여 받습니다.

학회지 8쪽까지 8,000 원/쪽 이며

9쪽부터는 12,000 원/쪽 입니다.

단, 투고된 논문이 연구비를 받은 경우는 상기 금액의 50%를 할증합니다.