

地下鐵 電動車 構造強度에 관한 研究*

— 第 1 報 理論的解析 —

廉永夏 · 申永琦 · 趙宣彙 · 李長茂 · 李教一

〈서울대학교 · 工科大学〉

1. 緒 論

1. 序 言

4 次에 걸친 經濟開發 5 個年計劃을 成功의 으로 다치고, 輸出 200 億弗을 이미 超過達成한 우리 韓國經濟는 重化學工業의 도약 단계에 들어 있으며, 高度의 技術蓄積을 要하는 機械工業을 積極推進하지 않을 수 없게 되었다. 아울러 繼續的인 國民經濟發展을 위한 先決條件으로서의 社會 間接資本 특히 交通手段의 擴充이 必要함은 再言할 必要가 없다.

1975 年 8 月 15 日을 期하여 서울地下鐵 第 1 號線이 開通되었고, 1980 年 12 月 27 日에 2 號線 新設洞~잠실間이 開通되었다. 이것을 계기로 하여 앞으로 首都圈 高速電鐵化가 촉진되고, 서울의 交通難 解消에 박차를 가하게 되었다. 그러나 이들 電動客車들은 많은 部品들이 輸入에 의존하고 있는 실정이다.

最近年の 鐵道車輛의 動向을 살펴보면, 高速 輕量化와 더불어 車體強度 및 振動特性 등이 重要視됨에 따라 安全運行을 위하여서 제작된 車

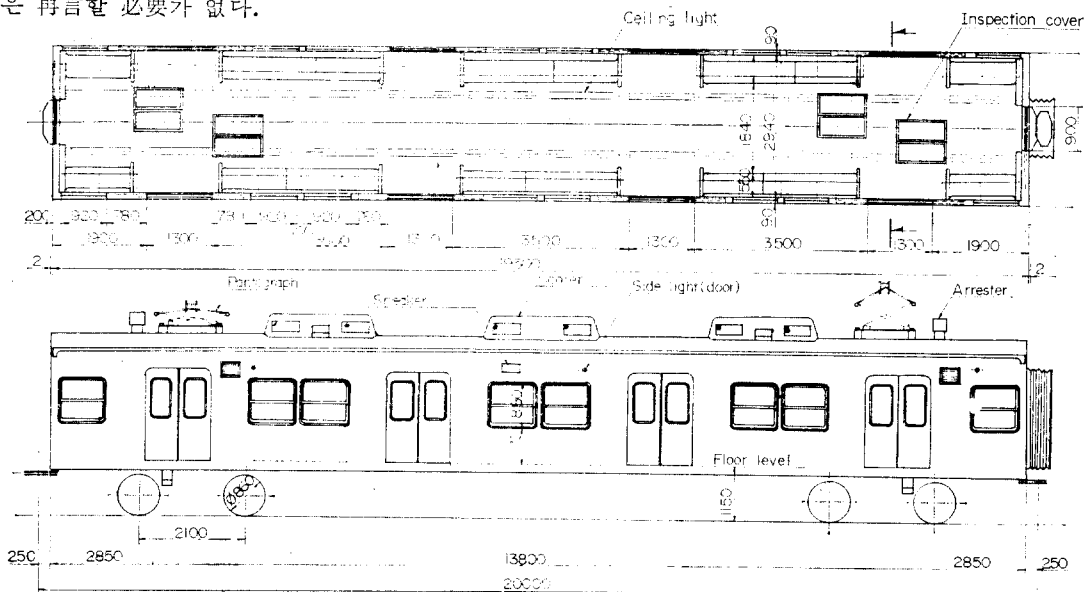


그림 1. Ordinary passenger general view.

* 本 研究는 1980年度 文教部 政策研究費로 現代車輛(株)과 産學協同으로 遂行되었다.

輛의 實際強度가 設計値의 許容範圍內에 있어야 하므로, 우리나라에서도 車輛安全性向上을 위하여 電氣抵抗 스트레인 게이지를 이용한 應力解析을 開發하여 性能評價에 導入할 수 있게 되었다.

本 研究에서는 先進外國과 같은 방식의 스트레인 게이지 法을 사용하여 電動客車의 車體 및 臺車의 應力를 測定하고 分析하였다. 한편 固有振動數 測定에는 加速度計와 스트레인 게이지를 transducer 로 사용하여 振動特性을 記錄 및 分析하고, 安全性을 評價하였다. (그림 1은 試驗車로 使用한 地下鐵 第2號線 電動車)

2. 車體試驗 荷重條件

[1] 豫備荷重 試驗

試驗車의 安定化를 위하여 벤딩 荷重 36 톤을 4 時間 加해 preload test 를 시행하였다.

벤딩 試驗荷重……0 \longleftrightarrow 25 톤 \longleftrightarrow 36 톤(垂直荷重)으로 하고, 車端壓縮荷重試驗은 壓縮荷重 50 톤을 加하여 4 回의 setting 을 하였다.

壓縮荷重…… 0 \longleftrightarrow 50 톤(2 時間 사이에 4 回 setting)

[2] 車體強度 및 振動試驗

(1) 垂直 벤딩 荷重試驗

2 點支持狀態로 실시하나, 側受部에는 轉倒防止 장치를 하고 벤딩 荷重을 加한다.

荷重段階……0 \longleftrightarrow 9 \longleftrightarrow 18 \longleftrightarrow 27 \longleftrightarrow 36 톤

(2) 車端壓縮試驗

側受部를 포함하여 6 點 支持상태에서 壓縮試驗을 한다.

荷重段階…0 \longleftrightarrow 12.5 \longleftrightarrow 25 \longleftrightarrow 37.5 \longleftrightarrow 50 톤

(3) 벤딩 荷重下의 車端壓縮試驗

側受部를 포함한 6 點 支持下에서 벤딩 荷重을 積載하고 壓縮試驗을 施行한다.

荷重段階……0 \longleftrightarrow 12.5 \longleftrightarrow 25 \longleftrightarrow 37.5 \longleftrightarrow 50

(4) 비틀림 荷重試驗

剛體의 支持는 前位 끝 側을 2 點支持하여 固定側으로, 後位側을 bolster 에서 1 點支持 負荷側으로 하여 3 點支持한다. 負荷側의 센터플레이트 支持는 비틀림 變位를 구속시키지 않도록

車體 길이 方向으로 배치한다.

비틀림 모우멘트 4,000 kg-m(4 톤-m)을 다음 段階로 한다.

荷重段階 비틀림모우멘트……

0 \longleftrightarrow 1 \longleftrightarrow 2 \longleftrightarrow 3 \longleftrightarrow 4 톤-m

(5) 벤딩 振動試驗 및 비틀림 振動

剛體의 [支持方法은 垂直벤딩 試驗과 동일하게 하고, quick release 裝置를 사용하여 1 톤을 瞬間的으로 release 한다. 그리고 비틀림 振動은 비틀림 상태에서 同一한 방법으로 測定한다.

剛構造의 振動은 oscillograph 로 recording 한다. 剛體의 振動測定은 시험 구체의 공차 상태 조건에서 side frame, side sill, cross beam, keystone plate 의 4 個所의 振動을 기록한다.

[附記]

- 1) 車體 垂直굽힘 荷重試驗에서 試驗荷重은 36 톤(max)으로 하고, 最大運轉荷重 換算値는 $50/36=1.4$ 로 50 톤 荷重으로 試驗한 값으로부터 換算하여 計算한 값을 取扱한다.
- 2) 車端의 最大壓縮荷重은 50 톤을 4 段으로 加荷한다.

2. 理論的 構造強度 解析

1. 車體 under frame 의 構造強度

1.1. Under frame 의 center sill 의 應力

(1) 荷重條件

Under frame 의 荷重條件은 다음과 같다.

- 1) 自重 : $W=41,500\text{kg}$
- 2) 臺車 2 개의 總重量(모우터와 減速機 포함) : $W_b=16,100\text{kg}$
- 3) 滿員時 荷量 : $W_p=25,000\text{kg}$
- 4) End load : $P_1=50,000\text{kg}$
- 5) Body bloster 荷重(P_2) : $P_2 = \frac{(W - W_b) + W_p}{4} = 12,600\text{kg}$
- 6) 反力 : $R_1=12,600\text{kg}$

(2) Center sill 의 應力

여기서는 end sill 에서 bolster 까지 사이의 應

력을 취급하기로 한다.

(A) Center sill의 應力에 作用하는 荷重

Center sill에 作用하는 荷重은 그림 2의 (1)에 表示하였다. 여기서 draft gear stopper 部에 作用하는 end load $P_1=50,000$ kg의 荷重으로 設計하고 連結器의 中心部에 作用한다고 假定한다.

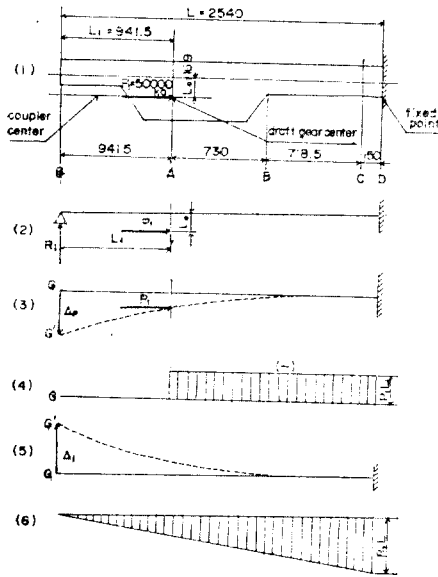


그림 2. Center sill 說明圖

Center sill 各部에서의 彎딩 모우멘트는 center sill의 한쪽 끝이 끝 構造에 의하여 支持되었다고 假定하였을 때, 다른 쪽 끝은 bolster에 의해 固定되었으며, center sill이 均一한 斷面의 beam으로 되었을 경우 다음 式이 얻어진다.

$M_1 = Rx$end sill과 draft gear의 중심사이 굽힘 모우멘트

$Me = Rx - M_0$draft gear 中心과 body bolster 사이 굽힘 모우멘트

여기서 끝 구조의 반발력

$$R = \frac{3(L^2 - L_1^2)}{2L^3} M_0 \quad (1)$$

여기서 $M_0 = P_1 L_0 \quad (2)$

(註) (1) 式의 誘導過程은 서울大 工大, 研究報告 R-80-602 參照

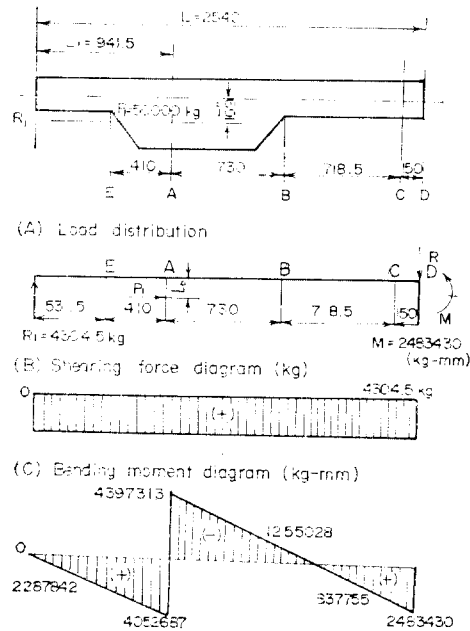


그림 3. Center sill의 (A) 荷重 分布, (B) 剪斷力 線圖 및 (C) 彎딩 모우멘트

그리고 x 는 各斷面에서 end sill까지의 거리
(B) Center sill의 荷重, 剪斷力線圖 및 彎딩 모우멘트

그림 3은 center sill의 各 線圖를 표시한다. 그림 中에서 (A) 荷重 分布, (B) 剪斷力線圖, (C) 彎딩 모우멘트線圖 等を 각각 표시한다.

(C) Center sill에 作用하는 彎딩 모우멘트와 stress

(i) 各 位置의 彎딩 모우멘트 計算

표 1의 center sill의 彎딩모우멘트는 end sill과 draft gear center 사이의 굽힘 모우멘트式 $M_1 = Rx$ 와 draft gear center와 body bolster 사이의 굽힘 모우멘트式 $Me = Rx - M_0$ 의 2式을 써서 各斷面에서 生기는 彎딩 모우멘트의 크기를 구한 것이다.

(ii) Center sill의 應力 計算

(A) Under frame의 各斷面의 彎딩 應力의 크기는 다음과 같다.

資 料

표 1. Center sill 의 各斷面의 벤딩 모우멘트

斷 面	벤딩모우멘트 (kg-mm)	벤딩모우멘트(kg-mm)
E	M_E	$M_E = Rx = 2,287,842(\text{kg}\cdot\text{mm})$
A	M_A	$M_A = Rx = 4,052,687(\text{kg}\cdot\text{mm})$
B	M_B	$M_B = Rx - M_0 = 1,256,028(\text{kg}\cdot\text{mm})$
C	M_C	$M_C = Rx - M_0 = 1,837,755(\text{kg}\cdot\text{mm})$
D	M_D	$M_D = Rx - M_0 = 2,483,430(\text{kg}\cdot\text{mm})$

(a) 斷面 E 의 경우..... $\sigma_{EU}, \sigma_{EL} : M_E$

$$\sigma_{EU} = \frac{M_E}{Z_{xU}} = \frac{2.287 \times 10^6}{2.273 \times 10^5} = -10.07 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{EL} = \frac{M_E}{Z_{xL}} = \frac{2.287 \times 10^6}{2.273 \times 10^5} = 9.74 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

(b) 斷面 A, B, C, D 의 경우도 同一한 方法으로 計算하였다.

(B) Under frame 의 各斷面의 압축응력의 크기도 같은 方法으로 計算된다.

(D) Center sill 에 作用하는 各種應力과 合成應力

위에서 計算한 各斷面에 作用하는 應力으로 合成應力은 표 2 와 같다.

Center sill 의 計算應力分布를 표 2 에서 보면 絶對值가 10 kg/mm^2 를 超過한 큰 값은 合成應力의 경우 ㉔ 斷面(下)에서 -15.01 kg/mm^2 , ㉓ 斷面(上)에서는 -17.76 kg/mm^2 이고, 그리고 ㉑ 斷面(上)에서 -10.07 kg/mm^2 이며, 벤딩應力의 경우에는 ㉑ 斷面(上)에서 -10.07 kg/mm^2 등 4 個로 나타나 있다.

표 2. Center sill 의 各種應力과 合成應力

斷 面	A (end sill side)	A (bolster side)	B	C	D	E
斷面係數 (mm ³)	上 8.54×10^5 下 8.706×10^5	上 8.541×10^5 下 8.706×10^5	上 2.273×10^5 下 2.349×10^5	上 2.273×10^5 下 2.349×10^5	上 7.052×10^5 下 7.246×10^5	上 2.273×10^5 下 2.349×10^5
斷面積 (mm ²)	9.22×10^3	9.22×10^3	5.17×10^3	5.17×10^3	1.25×10^4	5.17×10^3
벤딩모우멘트 (kg-mm)	4.053×10^6	-4.397×10^6	-1.255×10^6	1.838×10^6	2.483×10^6	2.288×10^6
벤딩應力 (kg/mm ²)	上 -4.75 下 4.66	上 5.15 下 -5.05	上 5.52 中 -5.34	上 -8.09 下 7.82	上 -3.52 下 3.43	上 -10.07 下 9.74
壓縮應力 (kg/mm ²)	0	-5.42	-9.67	-9.67	-4.00	0
合成應力 (kg/mm ²)	上 -4.75 下 4.66	上 -0.27 下 -10.47	上 0.18 下 -15.01	上 -17.76 下 -1.85	上 -7.52 下 -0.57	上 -10.07 下 9.74

1.2. Body bolster 의 應力

(1) 垂直荷重

(i) 荷重條件

Body bolster 上部의 荷重 P_2 및 下部의 反力 R_1 은 다음과 같다.

P_2 : Bolster 上部의 荷重

$$P_2 = \frac{W - W_b + W_p}{4} = 12,600 \text{ kg}$$

R_1 : 反力 $R_1 = 12,600 \text{ kg}$

(ii) 斷面係數

표 3. 荷重과 斷面係數

load	section	vertical load		horizontal load	
		①	②	①	②
section modulus(mm ³)	upper	7.87×10^5	1.52×10^6	1.73×10^6	5.39×10^6
	lower	7.87×10^5	1.44×10^6	1.73×10^6	5.39×10^6

그림 4의 (A)는 body bolster에 작용하는 垂直 荷重 條件을 표시한다. 그리고 (B)는 荷重 條件에 대한 shearing force diagram을 표시하고, (C)는 벤딩 모우멘트 선도를 표시한다.

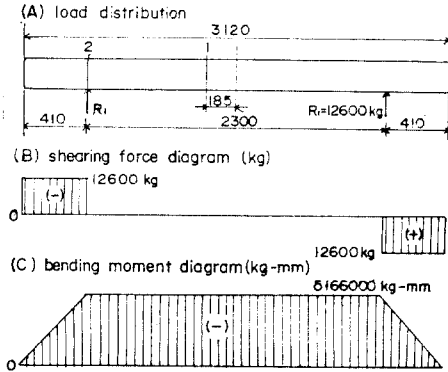


그림 4. Body bolster 하중·전단력·벤딩 모우멘트線圖

(iii) Body bolster의 應力計算

Body bolster의 各部斷面의 벤딩 應力の 크기는 다음과 같다.

(a) 斷面 ①의 應力... $\sigma_{1A}, \sigma_{1B}, \sigma_{1C}, \sigma_{1D}$: 여기서 bending moment는 M_1 이므로, 各應力이 계산된다.

(b) 斷面 ②의 應力... $\sigma_{2A}, \sigma_{2B}, \sigma_{2C}, \sigma_{2D}$ 에서는 M_2 를 사용하여 各應力이 계산된다.

(2) 水平荷重

(i) 水平荷重(end load)條件

荷重은 draft gear stopper 後部에 壓縮荷重 50톤이 작용한다. 그림 5와 같이 bolster는 bolster力 사이의 keystone plate와 side sill, center sill에 의하여 支持된다고 假定하면, center sill 中心線에 따라 水平荷重 P_1 을 받는다.

그림 5의 上面에서 上部左側 P_1 은 center sill에서 작용하는 힘, 上部右側 P_1 은 水平 end

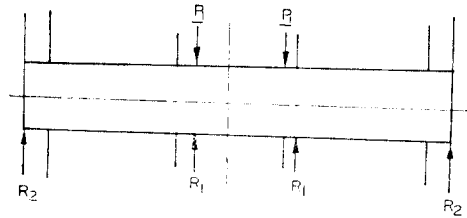


그림 5. Body bolster의 荷重條件

load 25,000 kg이다. 下部左側 R_2 는 end sill에 의한 反力으로 15,900 kg, R_1 은 center sill의 反力 9,100 kg의 荷重이 作用한다.

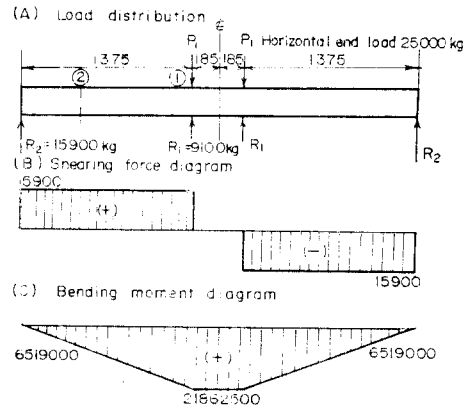


그림 6. Body bolster의 荷重·剪斷力·벤딩모우멘트線圖

그림 6은 水平荷重에 對한 body bolster의 說明圖를 表示하였다. 여기서 ① 및 ②는 body bolster의 計算斷面을 表示한다. 그림 6의

(A) Body bolster의 荷重分佈를 나타내고, 上部 $2P_1=50,000$ kg이다.

(B) 剪斷力에 대한 線圖를, 그리고

(C) 벤딩모우멘트 線圖를 表示하였다.

(ii) Body bolster 各斷面에서 벤딩 모우멘트
Body bolster의 ①斷面과 ②斷面에 대한 벤딩 모우멘트는 표 4와 같다.

표 4. 各斷面의 벤딩 모우멘트

벤딩모우멘트 (kg-mm)	벤딩 모우멘트 條件(kg)	① 단 면	② 단 면
M	① $R_2 \times 1,375$ ② $R_2 \times 410$	$M_1 = R_2 \times 1,375$ $= 21,862,500$ kg-mm	$M_2 = R_2 \times 410$ $= 6,519,000$ kg-mm

(iii) Body bolster 各斷面 應力計算

(a) 斷面 ①의 경우..... $\sigma_{1A}, \sigma_{1B}, \sigma_{1C}, \sigma_{1D} : M_1$

(b) 斷面 ②의 경우..... $\sigma_{2A}, \sigma_{2B}, \sigma_{2C}, \sigma_{2D} : M_2$

위의 (a), (b)의 경우 各 應力이 計算된다(但

여기서는 紙面關係로 省略한다.)

(iv) Body bolster 의 合成應力

Body bolster 의 荷重位置는 그림 7 과 같고, 合成應力은 표 5 와 같다.

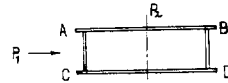


그림 7. Body bolster 의 荷重位置

표 5. 應力 계산결과(그림 7 參照)

項 目		단면 수 직 하 중				수 평 하 중				합 성 하 중				
荷置位置		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
應力	kg/mm ²	①	+6.57	+6.57	-6.57	-6.57	-12.64	+12.64	-12.64	+12.64	-6.07	+19.21	-19.21	+6.07
	②	+3.40	+3.40	-3.59	-3.59	-1.21	+1.21	-1.21	+1.21	+2.19	+4.61	-4.80	-2.38	

Body bolster 의 垂直荷重과 水平荷重에 대한 應力值를 比較하면 全般的으로 垂直荷重의 경우 보다는 水平荷重이 더욱 큰 값을 나타내고 있다. 水平應力의 最高值는 ± 12.63 인데 比하여 垂直應力의 最高值는 ± 6.56 이므로 水平應力이 2 배나 큰 값을 보이고 있다. 그리고 合成複合應力值는 단면 ①의 B에서 19.20 kg/mm^2 및 C에서 -19.20 kg/mm^2 를 나타내는 큰 값을 보였다. 그러나 단면 ②의 複合應力의 最高值는 $\pm 4.97 \text{ kg/mm}^2$ 에 不過하였다.

2. Side frame 의 强度

2.1. Side frame 의 概要

電動客車에서는 center sill 이 짧고 keystone plate 를 사용하고 있으므로 side frame 에서 車體强度를 조절하고 있다. 그러므로 side frame 이 重要性을 갖고 있으므로, 이에 對한 構造解析 및 應力을 理論的으로 分析하기로 한다.

電動客車에서 荷重을 지탱하는 車體의 構造는 2個의 垂直 Rahmen 構造物, 그것도 반드시 Vierendeel 形인 것으로 볼 수 있다. 그 理由는 出入門과 窓門의 空間이 構造物의 形狀을 나타내고 있기 때문이다.

本 研究에서 side frame 을 撓角法으로 解析하는 方法과 컴퓨터 解析法을 사용하였다.

(1) 撓角法 構造應力解析方法

(2) 컴퓨터에 의한 構造應力解析方法 등을 說明하고 그 中에서 컴퓨터 解法을 使用하였다.

2.2. Side frame 의 撓角法 理論的應力解析

Side frame 의 應力解析을 위해서는 side frame 을 그림 8 과 같은 Rahmen girder, 곧 Vierendeel girder 로 보고 이에 撓角法을 적용하는 것이 慣例이다. 그러므로 우선 撓角法에 대한 說明을 하기로 한다.

① 撓角法의 基本關係式

Rahmen 構造物이 荷重作用으로 變形을 일으키면 그 中 한 構造部材는 一般的으로 그림 9 와 같이 變形할 것이다. 곧 처음에 水平位置에 있었던 i 番 部材의 兩端 i 와 $i+1$ 이 그림에 보인 位置로 變位를 일으켜서 δ_i 만큼의 相對的 橫方

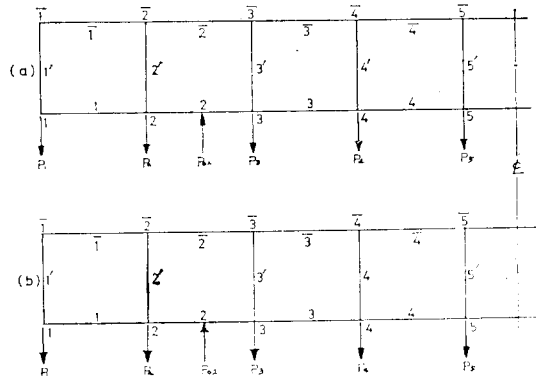


그림 8. Rahmen girder 說明圖

向變位를 일으키고, i 節點은 ϕ_i 만큼, $i+1$ 節點은 ϕ_{i+1} 만큼 廻轉을 일으킬 것이다. 이때 兩端에 일어나는 모우멘트 $M_{i,i}$ 및 $M_{i,i+1}$ 과 ϕ_i , ϕ_{i+1} , $\theta_i = \delta_i/l_i$ 및 荷重 사이에 關係를 나타내는 式은 撓角法에서 기본이 되는 關係式을 이룬다.

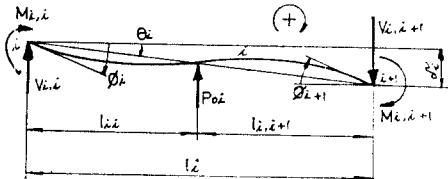


그림 9. 構造部材의 變形

그림 9의 狀態를 利用하여 誘導한 式은

$$M_{i,i} = M'_{i,i} + M''_{i,i} + M'''_{i,i} + C_{i,i} \\ = 2EK_i(2\phi_i + \phi_{i+1} - 3\theta_i) + C_{i,i} \quad (2)$$

$$M_{i,i+1} = M'_{i,i+1} + M''_{i,i+1} + M'''_{i,i+1} + C_{i,i+1} \\ = 2EK_i(2\phi_{i+1} + \phi_i - 3\theta_i) + C_{i,i+1} \quad (3)$$

式 (2)와 (3)이 撓角法에서의 基本關係式이다.

여기서 $M_{i,i}$, $M_{i,i+1}$, ϕ_i , ϕ_{i+1} , θ_i , $C_{i,i}$, $C_{i,i+1}$ 은 모두 時計方向의 것을 陽으로 規約한다.

2.3. 컴퓨터方法

撓角法에 따르면 side frame 을 그림 8 과 같

은 Rahmen 으로 볼 때 15元 1次聯立方程式을 풀어야 한다. 이것을 풀기 위해서는 컴퓨터를 사용해야 한다. 既往에 컴퓨터를 사용해야 한다면, 애초부터 매트릭스構造解析法을 적용하여서 짠 컴퓨터 프로그램을 사용하여 직접 컴퓨터로 푸는 것이 간단하고 편리하다.

1. 컴퓨터의 input data

여기에 사용한 프로그램은 KAIST 가 保有하고 있는 SAP IV 이다.

그림 10 에 보인 바와 같은 節點番號 ①, ②, ③, ……④⑤을 붙이고, 部材一連番號 ①, ②, ③, …⑤을 붙인다.

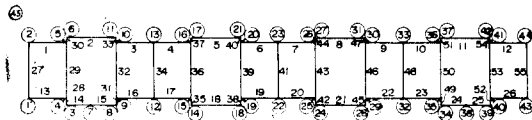


그림 10. 節點番號 및 部材番號

또 그림 10 과 같이 節點 1 을 原點으로 하는 直角座標軸 x , y 軸을 설정한다. 모든 節點에 대한 座標를 표 6(A)와 같이 表示하였다.

표 6(A). 各節點의 座標 表示

節點	座標	節點	座標	節點	座標
1	(0, 316.7)	16	6(300, 2, 114.3)	31	(13,024.4, 2, 213.5)
2	(0, 2, 114.3)	17	(6, 300, 2, 213.5)	32	(14,462.2, 3, 167)
3	(1, 500, 0)	18	(8, 244.4, 16.8)	33	(14,462.2, 2, 114.3)
4	(1, 500, 316.7)	19	(8, 224.4, 316.7)	34	(15,900, 0)
5	(1, 500, 2, 114.3)	20	(8, 224.4, 2, 114.3)	35	(15,900, 316.7)
6	(1, 500, 2, 213.5)	21	(8, 224.4, 2, 213.5)	36	(15,900, 2, 114.3)
7	(2, 752.2, 0)	22	(9, 622.2, 316.7)	37	(15,900, 2, 213.5)
8	(3, 424.4, 0)	23	(9, 662.2, 2, 114.3)	38	(16, 562, 0)
9	(3, 424.4, 316.7)	24	(11, 100, 16.8)	39	(17, 824.4, 0)
10	(3, 424.4, 2, 114.3)	25	(11, 100, 316.7)	40	(17, 824.4, 316.7)
11	(3, 424.4, 2, 213.5)	26	(11, 100, 2, 114.3)	41	(17, 824.4, 2, 114.3)
12	(4, 862.2, 316.7)	27	(11, 100, 2, 213.5)	42	(17, 824.4, 2, 213.5)
13	(4, 862.2, 2, 114.3)	28	(13, 024.4, 16.8)	43	(19, 324.4, 316.7)
14	(6, 300, 16.8)	29	(13, 024.4, 316.7)	44	(19, 324.4, 2, 114.3)
15	(6, 300, 316.7)	30	(13, 024.4, 2, 114.3)	45	(-1, 000, 10, 000)

資料

데이터의 入力은 다음 順으로 한다.

- i) 表題 및 單位 ii) 材料의 性質
- iii) 모든 節點의 標座와 自由度
- iv) 모든 部材의 兩端의 節點番號, 斷面積, 斷面 2次 모우멘트 및 材料의 種類
- v) 荷重

2. Output sheet의 說明

이상의 데이터를 카아드에 펀치한 다음에 프로그램 카아드 텍과 함께 컴퓨터에 넣어 주면 컴퓨터 안에서 모든 計算이 수행되어 필요한 結果가 print out 된다. output sheets에 대해 說明을 가하면 다음과 같다.

① 表題

이것은 input 해 준 그대로 output sheet에 찍혀 나와있다. 이 表題 “Static Analysis of Vierendeel Rahmen(Kg. mm)”가 1面을 차지하고 있는데, 그 餘白에는 그림 15과 그림 16을 그려 넣어 주면 편리할 것이다.

② 材料의 性質

구조물이 5가지까지의 서로 다른 材料로 만들어져 있는 경우를 생각해서 프로그램이 짜여져 있지만, 本 境遇에는 한 가지 材料로 構造物이 만들어져 있으므로 KIND 1에 대한 彈性係數와 單位重量이 input되었는데 이들이 그대로 output되어 있다(표 1의 material properties 참조)

③ 모든 節點의 座標와 自由度가 input된 그대로 output되어 있다.

이것은 nodal point input data 및 nodal point coordinates로 X, Y, Z, XX, YY, ZZ, T 등이 나와 있으나 표는 省略하였다.

④ 모든 部材의 兩端의 節點番號, 斷面積, 斷面 2次모우멘트, 길이 및 材料의 種類 部材의 길이를 제외하고 그대로 output되어 있다.

컴퓨터에는 部材의 兩端에 작용하는 軸方向力, 剪斷力 및 材端 모우멘트가 表記되었다. 軸

力, 剪斷力 및 材端 모우멘트가 表記되었다. 軸

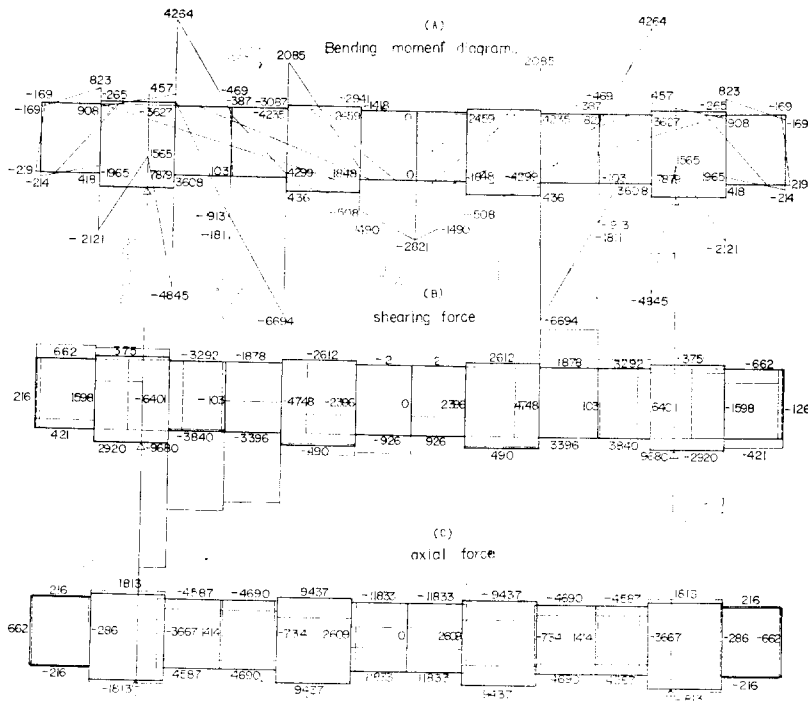


그림 11. Side frame. (A) bending moment (B) shearing force (C) axial force diagram.

方向力, 剪斷力 및 材端 moment 의 符號는 그 것이 近端에 작용하는 것이든 또는 遠端에 작용하는 것이든 간에 관계없이 部材座標軸의 陽의 쪽을 향하는 것을 陽으로 잡았다. 部材座標軸은 각 部材마다 그 部材의 近端으로부터 遠端쪽으로 그은 直線을 x 軸, x 軸으로부터 反時計方向으로 90° 만큼 回轉시킨 直線을 y 軸으로 하여 구성된다.

그림 11의 (1)는 side frame의 벤딩 모우멘트 선도를 表示한다. 여기서 單位는 : $\times 10\text{kg}\cdot\text{mm}$ 이고, right hand 上部側을 tension(+)plus로 하고, left hand 下部側을 compression(-)로 하였다. 그리고 underline 및 chain line은 column 附近의 모우멘트를 表示한다.

그림 11(B)에서 shearing force 作用力의 方向을 表示한다.

- (1) force direction $\rightleftharpoons \uparrow \dots \dots +$ (plus) (陽)
(單位 : kg)
- (2) force direction $\rightleftharpoons \downarrow \dots \dots -$ (minus) (陰)
- (3) positive values to be shown upper side and right hand side of the figure
- (4) underline and chainline show value of column

그림 11의 (C)는 axial force diagram을 表示한다.

그림 11의 (C)의 各 記號의 plus 및 minus 表示方式은 그림 11(B)의 方式에 따른다. (單位는 kg)

(3) Side frame의 應力計算值

Side frame의 應力計算에는 現代車輛(株), 電動車強度計算에 例示된 斷面係數를 사용하였다.

荷重條件에 따라 컴퓨터로 計算된 部材의 벤딩모우멘트로부터 各部의 벤딩應力을 計算한 것을 서울大 工大 R-80-106 報告書에 表示하였다. 그리고, 前述한 바와 같이 side frame의 superstructure를 rahmen 構造強度計算은 複雜하므로 컴퓨터 計算한 값을 使用하여 各部의 stress를 檢討키로 하였다. 컴퓨터에서 얻은 side frame의 superstructure의 結果인 그림 11에서 (A), (B), (C)는

- (A) Bending moment diagram
- (B) Shearing force diagram
- (C) Axial force diagram

등으로부터 side frame의 各位置의 door 및 window의 stress를 換算하였다.

표 6(B)는 그림 11에서 얻은 값을 표시한다.

표 6(B). Window and door upper for M1 car body

Beam		1st W.U.		1st D.U.		2nd W.U.		Remark	
U. Le.	U. Ri								
bending	bending	-0.224	1.076	-0.438	1.007	5.695	-0.773		Le; Left
comp.	comp.	0.082	0.082	0.486	0.486	-1.731	-1.731		W; Window
combine	combine	-0.142	1.158	0.048	1.493	3.964	-2.504		D; Door
Beam		3rd W.U.		2nd D.U.		4th W.U.		5th W.U.	
U. Le	U. Ri								
bending	bending	-0.890	-4.580	3.761	-6.297	-2.886	-2.892	-2.892	—
comp.	comp.	-1.770	-1.770	-2.531	-2.531	-4.467	-4.467	-4.467	—
combine	combine	-2.660	-6.350	1.230	-8.828	-7.353	-7.359	-7.359	—

[註] (實驗裝置 및 方法과 結果 및 考察은 다음호에 계속함)