

自動車制動裝置의 設計入門

池 慶 澤

萬都機械(株)

車輛에 있어서 制動裝置가 차지하는 重要度는 다른 部品에 比하여 매우 크다고 말할 수 있겠다.

그래서 車輛에 brake system을 適用하는데 있어서 가장 基礎가 되는 수식 및 一般事項을 說明함으로써 차량과 brake 관계를 넓게 이해하고 가장 적합한 制動裝置의 設計에 도움을 주려는 데 본 기술의 目的이 있다.

우선 車輛諸元에 맞는 brake 性能에 關하여 생각하여 보자. 아래 그림 1 과 같이 2 개의 車軸을 갖고 있는 차량에서 制動할 경우 前, 後 車軸(front axle, rear axle)의 動荷重(dynamic weight)은 정지상태 때의 하중과는 달라지게 된다. 그러므로 brake 性能은 이 動荷重의 分配에 좌우되는 것이다.

$$(F_0 + \Delta F) \cdot W \cdot B = F \cdot H_c + W \times b$$

$$F_0 \times W \cdot B + \Delta F \times W \cdot B$$

$$= F \times H_c + W \times b$$

$$\therefore \Delta F = \frac{F \cdot H_c + W \cdot b - F_0 \cdot W \cdot B}{W \cdot B} = \frac{F \cdot H_c}{W \cdot B}$$

$$\Delta F = \frac{W}{G} \times f \times \frac{H_c}{W \cdot B} \dots \dots \dots (1)$$

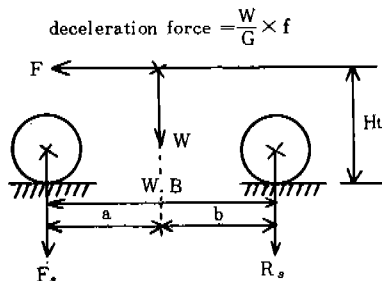
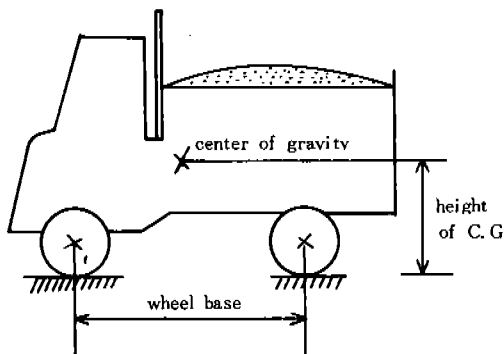
W : 車輛總重量 (kg)

F₀ : 停止狀態 前車軸荷重 (kg)

f : 減加速度 (m/sec²)

G : 重力加速度 (9.8m/sec²)

ΔF : 減速度에 따른 前車軸에 증가하는 荷重 (kg)



[그림 1]

R_s : 停止狀態, 後車軸荷重 (kg)
 $W \cdot B$: 前, 後車軸간의 거리 (m)
 H_t : 紙面에서부터 차량무게 중심까지의 높이 (m)

式 (1)과 같이 ΔF 가 作用하여 dynamic axle weight의 front와 rear는 아래 式 (2), (3)이 된다.

Dynamic Front Axle Weight

$$\begin{aligned}
 DFAW &= F_s + \Delta F = F_s + \frac{W}{G} \times f \times \frac{H_t}{W \cdot B} \\
 &= W \times (\% F_s) + W \times \frac{f}{G} \times \frac{H_t}{W \cdot B} \\
 &= W \left(\% F_s + "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right) \dots\dots(2) \\
 &\langle \frac{f}{G} = "X" g \text{라고 하면} \rangle
 \end{aligned}$$

Dynamic Rear Axle Weight

$$\begin{aligned}
 DRAW &= R_s - \Delta F = R_s - \frac{W}{G} \cdot f \times \frac{H_t}{W \cdot B} \\
 &= W (1 - \% F_s) - "X" g \times W \times \frac{H_t}{W \cdot B} \\
 &= W \left\{ (1 - \% F_s) - "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right\} \\
 &\dots\dots\dots(3)
 \end{aligned}$$

式 (2), (3)을 % (ratio)로 변환시키면, 아래 式 (4), (5)가 된다.

Front Brake Ratio (%)

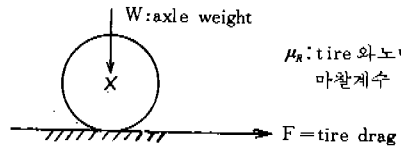
$$\begin{aligned}
 FBR &= \% F_s + \% \Delta F = \left(\frac{F_s}{W} \times 100 \right) \\
 &+ \left(W \times "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \times \frac{100}{W} \right) \dots(4)
 \end{aligned}$$

Rear Brake Ratio (%)

$$\begin{aligned}
 RBR &= 1 - \% F_s = \% R_s - \% \Delta F \\
 &= \left(\frac{R_s}{W} \times 100 \right) - \left(W \times "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{100}{W} \right) \dots\dots\dots(5)
 \end{aligned}$$

그러면 [그림 2]와 같이 tyre와 노면과의 접촉마찰에 의한 tire drag를 생각하여 보자.

$$\text{tire drag (F)} = \mu_r \cdot W \dots\dots\dots(6)$$



(그림 2)

μ_r : tire와노면의 마찰계수

따라서 式(6)을 dynamic axle weight (式 2, 3)에 적용하면 각 axle에서 발생하는 tire drag는 아래 式 (7), (8)이 된다.

Front Tire Drag

$$\begin{aligned}
 FTD &= DFAW \cdot \mu_r = W \left(\% F_s + "X" g \right. \\
 &\quad \left. \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right) \times \mu_r \dots\dots\dots(7)
 \end{aligned}$$

Rear Tire Drag

$$\begin{aligned}
 RTD &= DRAW \cdot \mu_r = W \left\{ (1 - \% F_s) \right. \\
 &\quad \left. - "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right\} \mu_r \dots\dots\dots(8)
 \end{aligned}$$

式(7), (8)은 車輛의 各車軸에 걸리는 動荷重에 대한 idial drag이며, 車輛에서 實際의 brake가 나타낼 수 있는 actual drag를 생각하여 보자.

axle drag·actual (disc brake 인 경우)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{caliper} \times \text{effective} \times \text{pad} \mu \times \text{brake}}{2 \times \text{bore area} \times \text{radius} \times \text{rolling radius} \times \text{factor}} \\
 &\quad \times \text{pipe line pressure (P. L. P)} \dots\dots\dots(9)
 \end{aligned}$$

axle drag (drum brake 인 경우)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2 \times \text{wheel cylinder area} \times \text{brake factor}}{\text{rolling radius}} \\
 &\quad \times \text{drum radius} \times \text{P. L. P} \dots\dots\dots(10)
 \end{aligned}$$

여기서 式(9), (10)을 편의상 변형하면 axle drag/P. L. P 한 것을 front 인 경우 AF라 칭하고, rear 인 경우를 AR이라 칭하면 아래 式 (11), (12)로 정리할 수 있다.

$$\text{AF 또는 AR} = \frac{\text{axle drag}}{\text{P. L. P}}$$

$$\frac{2 \times \text{caliper bore area} \times \text{effective radius} \times \text{pad} \mu \times B \cdot F(1)}{\text{rolling radius}} \dots\dots\dots(11)$$

disc brake 인 경우

AF 또는

$$AR = \frac{\text{axle drag}}{P.L.P}$$

$$\frac{2 \times \text{wheel cylinder bore area} \times \text{brake factor} \times \text{drum radius}}{\text{rolling radius}} \dots\dots\dots(12)$$

drum brake 인 경우

그리고 실제의 制動裝置에서 모든 return spring 을 이기고 제동이 걸리기 시작하는 순간의 壓力(threshold pressure)을 front brake 에서는 BF 라 칭하고, rear brake 에서는 BR 이라고 하자. 그러면 아래 式(13)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{W}{G} \cdot f &= (P.L.P. - BF) \times AF + (P.L.P. - BR) \times AR \\ W \cdot "X" g &= (P.L.P. - BF) \times AF + (P.L.P. - BR) \times AR \dots\dots\dots(13) \end{aligned}$$

여기서 式(13)을 정리하여 "X" g (減速度)로 制動하기 위하여 실질적으로 필요한 pipe line pressure 를 얻을 수 있다.

$$P.L.P. = \frac{W \times "X" g + AF \times BF + AR \times BR}{AF + AR} \dots\dots\dots(14)$$

그러면 式(13)에서 idial 상태에서의 dynamic axle drag front 와 rear 를 분리하여 適用하면 아래 式(15), (16)을 얻을 수 있다.

$$FTD = (P.L.P. - BF) \times AF \dots\dots\dots(15)$$

$$RTD = (P.L.P. - BR) \times AR \dots\dots\dots(16)$$

위의 式(15), (16)에서 우변과 좌변을 생각하여 보자. 좌변은 車輛의 idial 狀態의 tire drag 이며, 우변은 actual 狀態의 axle drag 이다.

여기서 wheel lock 른 생각할 수 있다. 뒷식의 좌변과 우변이 같거나, 우변이 크면 wheel locking point 가 되는 것이다. 다시 말해서 actual axle drag 가 idial tire drag 보다 같거나 크면 wheel lock 가 일어난다.

式(15), (16)을 式(7), (8), (14)와 관련하여 다시 정리하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} &W \left(\% F_s + "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right) \times \mu_r \\ &= \left(\frac{W \times "X" g + AF \times BF + AR \times BR}{AF + AR} - BF \right) \times AF \\ "X" g_{(F)} &= \frac{\mu_r \times \% F_s + \frac{AF \times AR \times (BF - BR)}{W \times (AF + AR)}}{\frac{AF}{AF + AR} - \mu_r \times \frac{H_t}{W \cdot B}} \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &W \left\{ (1 - \% F_s) - "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right\} \times \mu_r \\ &= \left(\frac{W \times "X" g + AF \times BF + AR \times BR}{AF + AR} - BR \right) \times AR \\ "X" g_{(R)} &= \frac{\mu_r (1 - \% F_s) - \frac{AF \times AR (BF - BR)}{W \times (AF + AR)}}{\frac{AR}{AF + AR} + \mu_r \times \frac{H_t}{W \cdot B}} \dots\dots\dots(18) \end{aligned}$$

式(17), (18)을 더욱 간략하게 하기 위하여

$$\frac{AF \times AR (BF - BR)}{W \times (AF + AR)} = K \text{ 라고 하면}$$

$$"X" g_{(F)} = \frac{\mu_r \times \% F_s + K}{\frac{AF}{AF + AR} - \mu_r \times \frac{H_t}{W \cdot B}} \dots\dots\dots \text{front axle lock} \dots\dots\dots(19)$$

$$"X" g_{(R)} = \frac{\mu_r \times (1 - \% F_s) - K}{\frac{AR}{AF + AR} + \mu_r \times \frac{H_t}{W \cdot B}} \dots\dots\dots \text{rear axle lock} \dots\dots\dots(20)$$

여기서 front 와 rear axle 이 同時 locking 이 일어나는 μ_r 을 구할 수 있다.

$$"X" g_{(F)} = "X" g_{(R)}$$

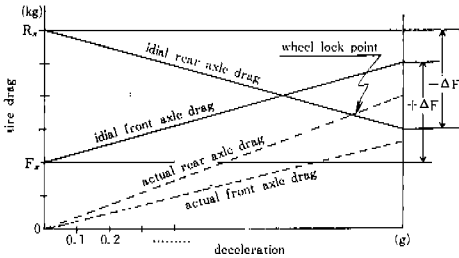
$$\frac{\mu_R \cdot \% F_s + K}{AF + AR - \mu_R \cdot \frac{H_t}{W \cdot B}}$$

$$= \frac{\mu_R \cdot (1 - \% F_s) - K}{AR + AR + \mu_R \cdot \frac{H_t}{W \cdot B}}$$

윗 式을 정리하면 아래 式(21)이 된다.

$$\mu_R = \left(\frac{AF}{AF + AR} - \% F_s \right) \pm \sqrt{\left[\% F_s - \frac{AF}{AF + AR} \right]^2 - \frac{\Delta \cdot H_t \cdot K}{W \cdot B}} \dots (21)$$

以上の 것을 graph로 그려보면 그림 3, 4가 된다. 그림 4는 各 μ_R 에서 wheel lock를 발생하는 g을 나타내는 것이며 EEC 75/524 graph라고 말한다.



(그림 3)

그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 一般的으로 車輛이 어떤 速度로 減速될 경우 front axle weight는 static 狀態때보다 ΔF 만큼 增加되며, 반대로 rear axle weight는 ΔF 만큼 減少하게 된다.

그리고 actual tire drag가 idial axle drag보다 크게되면 wheel lock가 일어나게 된다. wheel lock가 낮은 g에서 일어나면 tire가 早期磨滅이 일어나며 操向性能은 低下되고, 制動 거리는 길어지게 되는등의 좋지 않은 現象이 發生한다.

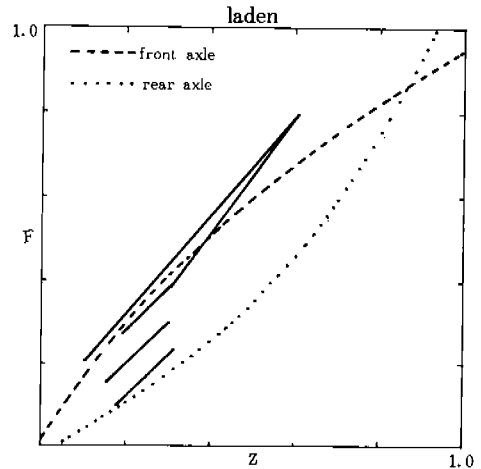
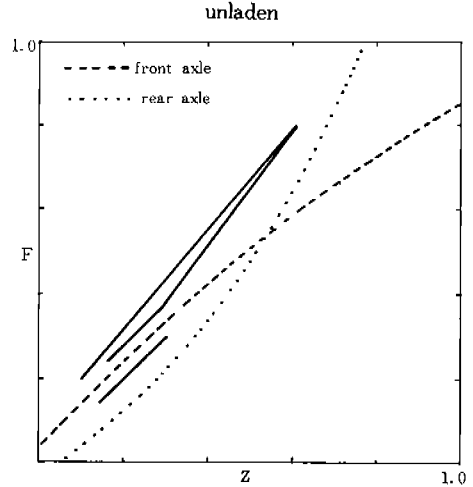
그러면 idial torque와 actual torque에 대해서 생각하자. 式 (7), (8)과 式 (9), (10)을 이용하면

Idial torque front

ITF = FTD × rolling radius

$$= W \left(\% F_s + "X" g \cdot \frac{H_t}{W \cdot B} \right) \mu_R \cdot RR \dots (22)$$

commercial vehicle brake performance
75/524 EEC



(그림 4)

Idial torque rear

ITR = RTD × rolling Radius

$$= W \left((1 - \% F_s) - "X" g \cdot \frac{H_t}{W \cdot B} \right) \mu_R \cdot RR \dots (23)$$

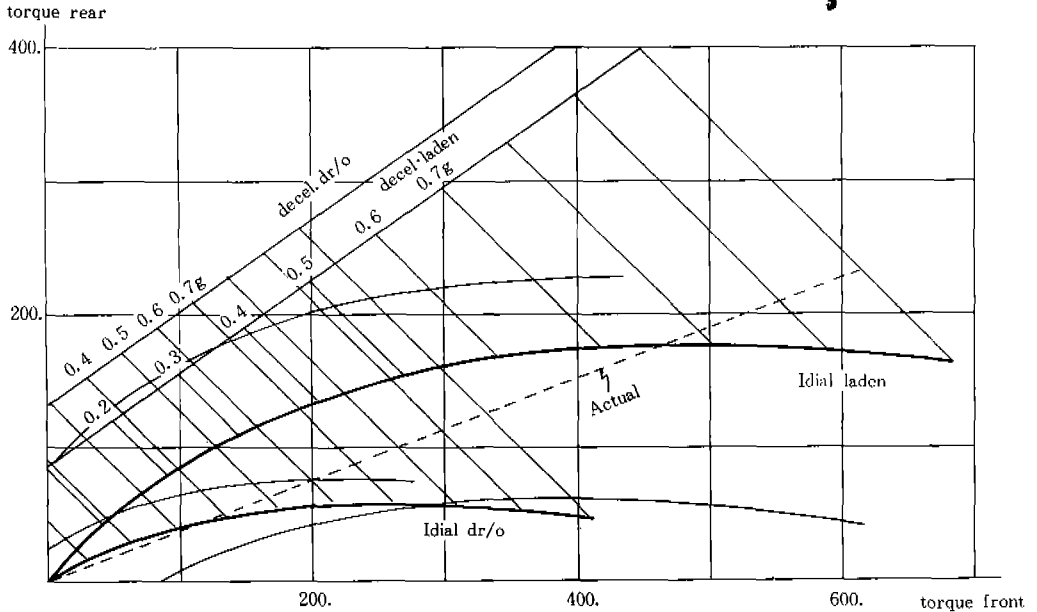
Atual torque front

ATF (R) = axle drag × rolling radius

$$= \frac{2 \times \text{caliper bore area} \times \text{effective radius}}{\text{rolling radius}}$$

$$\times \text{pad } \mu \times \text{P. L. P} \times RR (\text{rolling radius}) \dots (24)$$

(disc brake 경우)



(그림 5)

$$ATF(R) = \text{axle drag} \times \text{rolling radius}$$

$$= \frac{2 \times \text{wheel cylinder bore area} \times \text{brake factor} \times \text{drum radius}}{\text{rolling radius}} \times P.L.P \times RR \dots \dots \dots (25)$$

(drum brake 경우)

이상의 idial torque 와 actual torque 의 front 와 rear 상호간의 분포를 graph로 나타내면, 그림5와 같다.

그림5를 보면 front 와 rear 사이의 torque 분배는 idial 에서는 曲線으로 나타나게 된다.

그러므로 實際의 brake 도 idial 曲線을 따라갈 수 있는 장치로 될 수 있다면 가장 理想的이 겠으나 固定된 實際의 brake 裝置에서는 直線의 torque 로만 나타나게 된다. 더우기 laden 狀態와 driver only 狀態는 서로 range 가 다르게 나타나며 commercial vehicle 일수록 범위가 커져서 actual 線을 어느 範圍에 설정할 것인가 하는 것이 設計上의 問題點이 된다.

다시 쉽게 말하자면 idial laden 에 actual 線을 맞추면 driver only 狀態에서 over torque 가 걸

려서 wheel 의 早期 locking 이 일어날 것이며 driver only 상태로 맞추면 laden 狀態에서 braking torque 가 모자라서 밀립 現象이 일어날 것이다. 그래서 각국 마다 道路條件을 감안하여 braking regulation 이 있게 되며 미국의 FMVSS 105-75, 유럽 지역 EEL 75/524, Sweden F-18 등등이 있다. 여기에 유적한 것은 요약된 것들이다.

그럼 上記公式들을 利用하여 實例를 풀어 보자. 먼저 차량제원 (vehicle data) 이 결정되었다고 가정하고 가장 잘맞는 制動裝置를 設計하여 보자.

가상車輛제원 (vehicle data)

- Laden weight, total 1,234 kg (12093N)
- Laden weight, front 46.4%
- Driver only weight, total ...985 kg (9653 N)
- Driver only weight, front53.5%
- Pedal ratio —
- Wheel base 2.337 M
- Tire size 6.15" × 13" (inch)
- Tire rolling radius 0.275 M
- Height of C.G. Laden 0.48 M

Height of C. On Driver only 0.47 M

우선 式(4), (5)를 利用하여 laden 狀態와 D/O 狀態에서 0.8g 일 때 (regulation에 규제된 예임) idial braking ratio를 구해 보자.

$$FBR = \%F_s + \% \Delta F \approx \left(\frac{F_s}{W} \times 100 \right) + \left("X" g \cdot \frac{H_t}{W \cdot B} \times 100 \right)$$

Laden 狀態

$$FBR = 46.4 + \left(+0.8 \times \frac{0.48}{2.337} \times 100 \right) = 46.4 + 16.4 = 62.8\%$$

$$RBR = 100 - 62.8 = 37.2\%$$

D/O 狀態

$$FBR = 53.5 + \left(0.8 \times \frac{0.47}{2.337} \times 100 \right) = 53.5 + 16.1 = 69.6\%$$

$$RBR = 100 - 69.6 = 30.4\%$$

이 自動車는 laden 狀態에서 0.8 g 減速度로 制動할 경우 front 와 rear 의 weight 分配는 63:37의 비율이 되며 driver only 狀態時 0.8g 減速度로 制動할 경우 front와 rear 의 weight 分配는 70:30의 비율이 된다. 그러므로 實際의 brake 設計하는데 이 ratio를 감안하여야 한다.

그러면 laden 狀態와 driver only 狀態에서 0.8 g 의 減速度에 대한 idial torque를 구하여 보자. 式(22), (23)을 利用하여

Laden 狀態

$$ITF = W \left(\%F_s + "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right) \mu_r \cdot RR$$

$$= 1,234 \left(0.464 + 0.8 \times \frac{0.48}{2.337} \right) 0.8 \times 0.275 = 170.6 \text{ kg-m}$$

$$ITR = W \left\{ (1 - \%F_s - "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B}) \right\} \mu_r \cdot RR$$

$$= 1,234 \left(0.536 - 0.8 \times \frac{0.48}{2.337} \right) 0.8 \times 0.275 = 100.9 \text{ kg-m}$$

Driver only 狀態

$$ITF = 980 \left(0.527 + 0.8 \times \frac{0.47}{2.337} \right) 0.8 \times 0.275 = 148.3 \text{ kg-m}$$

$$ITR = 980 \left(0.473 - 0.8 \times \frac{0.47}{2.337} \right) 0.8 \times 0.275 = 67.3 \text{ kg-m}$$

이렇게 計算된 idial torque 와 braking ratio, 차 량제원, 기존제품(손쉽게 사용 가능한 brake) 또한 設計者の 경험 등의 자료로부터 일단 actual brake 를 선정하여 brake regulation에 위배되는 가를 하나하나 검토하여 결정하지 않으면 안된다. 그래서 일단 brake data를 선정하여 검토해 보자.

Brake data Type	Front disc brake	Rear drum brake (leading & trailing)
Eff. Radius/Diameter mm	101	203
Lining, μ	0.40	0.38
Cylinder DIA mm	48	17.8
Cylinder Area mm ²	3,617	249
Threshold Pressure KN/m ²	BF=69	BR=403
Brake Factor	1.0	2.2
Lining Area mm ²	-	-
Master Cyl. Dia. mm	-x-	-x-
x Stroke		

상기 제원으로부터 actual brake ratio를 구해서 idial brake ratio와 비교하여 보자. 式(11), (12)를 利用하여,

$$AF = \frac{2 \times \text{caliper bore area} \times \text{effective radius}}{\text{rolling radius}} \times \text{pad } \mu = \frac{2 \times 3,617 \times 101 \times 0.4}{275} = 1,062.7 (1.0627)$$

$$AR = \frac{2 \times \text{wheel cyl. area} \times \text{drum radius} \times B. F.}{\text{rolling radius}} = \frac{2 \times 249 \times 101.5 \times 2.2}{275} = 404.3 (0.4043)$$

$$\text{Front brake ratio (\%)} = \frac{AF}{AF + AR} \times 100 = \frac{1.063}{1.063 + 0.404} \times 100 = 72\%$$

Rear brake ratio(%) = 100 - 72 = 28%

Idial 과 actual 을 비교하여 보면 D/O 상태 에서 idial front 70% 인데 actual 72% 로 비슷하 나 laden 상태에서는 idial front 가 63% 이기 때 문에 actual front 가 조금 over 되어 wheel lock 를 유발할 가능성이 있다. 그러나 rear 가 lock 되는 것보다 조향성능에는 유리한 편이다. 그러 므로 EEC 75/524 graph 를 그려가면서 교차해 보자. 式(19), (20) 을 이용하여, 각 μ_R 치를 적용했을 때 wheel lock 이 발생하는 g 를 계산하여 보자. Laden 狀態時 front wheel lock 이 발생하는 g 는

$$\left(K = \frac{AF \times AR \times (BF - BR)}{W \times (AF + AR)} \right)$$

$$= \frac{1.063 \times 0.404 (69 - 403)}{12,093 (1.063 + 0.404)} = -0.008085$$

$$"X"_{g(F)} = \frac{\mu_R \times \%F_g + K}{\frac{AF}{AF + AF} - \mu_R \times \frac{H_f}{W \cdot B}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{AF}{AF + AR} = \frac{1.063}{1.063 + 0.404} = 0.72 \\ \frac{H_f}{W \cdot B} = \frac{0.48}{2.337} = 0.205 \end{array} \right\}$$

$\mu_R = 0.1$ 일때 $X_{g(F)}$

$$= \frac{0.1 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 0.1 \times 0.205} = 0.055$$

$\mu_R = 0.2$ 일때 $X_{g(F)}$

$$= \frac{0.2 \times 0.464}{0.72 - 0.2 \times 0.205} = 0.125$$

$\mu_R = 0.3$ 일때 $X_{g(F)}$

$$= \frac{0.3 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 0.3 \times 0.205} = 0.199$$

$\mu_R = 0.4$ 일때 $"X"_{g(F)}$

$$= \frac{0.4 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 0.4 \times 0.205} = 0.278$$

$\mu_R = 0.5$ 일때 $"X"_{g(F)}$

$$= \frac{0.5 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 0.5 \times 0.205} = 0.363$$

$\mu_R = 0.6$ 일때 $"X"_{g(F)}$

$$= \frac{0.6 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 0.6 \times 0.205} = 0.453$$

$\mu_R = 0.7$ 일때 $"X"_{g(F)}$

$$= \frac{0.7 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 0.7 \times 0.205} = 0.549$$

$\mu_R = 0.8$ 일때 $"X"_{g(F)}$

$$= \frac{0.8 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 0.8 \times 0.205} = 0.653$$

$\mu_R = 0.9$ 일때 $"X"_{g(F)}$

$$= \frac{0.9 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 0.9 \times 0.205} = 0.765$$

$\mu_R = 1.0$ 일때 $"X"_{g(F)}$

$$= \frac{1.0 \times 0.464 - 0.008}{0.72 - 1.0 \times 0.205} = 0.885$$

Laden 狀態 rear wheel lock 이 발생하는 g 는

$$"X"_{g(R)} = \frac{\mu_R \times (1 - \%F_g) - K}{\frac{AR}{AF + AR} + \mu_R \cdot \frac{H_f}{W \cdot B}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{AR}{AF + AR} = \frac{0.404}{1.063 + 0.404} = 0.28 \\ \frac{H_f}{W \cdot B} = \frac{0.48}{2.337} = 0.205 \end{array} \right\}$$

$\mu_R = 0.1$ 일때 $"X"_{g(R)}$

$$= \frac{0.1 \times 0.536 + 0.008}{0.28 + 0.1 \times 0.205} = 0.205$$

$\mu_R = 0.2$ 일때 $"X"_{g(R)}$

$$= \frac{0.2 \times 0.536 + 0.008}{0.28 + 0.2 \times 0.205} = 0.359$$

$\mu_R = 0.3$ 일때 $"X"_{g(R)}$

$$= \frac{0.3 \times 0.536 + 0.008}{0.28 + 0.3 \times 0.205} = 0.494$$

$\mu_R = 0.4$ 일때 $"X"_{g(R)}$

$$= \frac{0.4 \times 0.536 + 0.008}{0.28 + 0.4 \times 0.205} = 0.614$$

$\mu_R = 0.5$ 일때 $"X"_{g(R)}$

$$= \frac{0.5 \times 0.536 + 0.008}{0.28 + 0.5 \times 0.205} = 0.721$$

$\mu_R = 0.6$ 일때 $"X"_{g(R)}$

$$= \frac{0.6 \times 0.536 + 0.008}{0.28 + 0.6 \times 0.205} = 0.818$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.7 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.7 \times 0.536 + 0.008}{0.28 + 0.7 \times 0.205} = 0.905 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.8 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.8 \times 0.536 + 0.008}{0.28 + 0.8 \times 0.205} = 0.984 \end{aligned}$$

Driver only 狀態 front wheel lock 이 발생하는
g 는

$$\begin{aligned} \text{"X"}_{g(F)} &= \frac{\mu_R \times \%F_S + K}{\frac{AF}{AF + AR} - \mu_R \cdot \frac{H_t}{W \cdot B}} \\ \left(\frac{H_t}{W \cdot B} = \frac{0.47}{2.337} = 0.201 \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.1 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.1 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.1 \times 0.201} = 0.065 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.2 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.2 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.2 \times 0.201} = 0.146 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.3 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.3 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.3 \times 0.201} = 0.231 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.4 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.4 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.4 \times 0.201} = 0.322 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.5 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.5 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.5 \times 0.201} = 0.419 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.6 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.6 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.6 \times 0.201} = 0.522 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.7 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.7 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.7 \times 0.201} = 0.633 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.8 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.8 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.8 \times 0.201} = 0.751 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.9 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)} &= \frac{0.9 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 0.9 \times 0.201} = 0.878 \end{aligned}$$

$$\mu_R = 1.0 \text{ 일 때 "X"}_{g(F)}$$

$$= \frac{1.0 \times 0.535 - 0.008}{0.72 - 1.0 \times 0.201} = 1.02$$

Driver only 狀態 rear wheel lock 이 발생하는
g 는,

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.1 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.1 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.1 \times 0.201} = 0.182 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.2 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.2 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.2 \times 0.201} = 0.315 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.3 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.3 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.3 \times 0.201} = 0.433 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.4 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.4 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.4 \times 0.201} = 0.538 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.5 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.5 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.5 \times 0.201} = 0.632 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.6 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.6 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.6 \times 0.201} = 0.716 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.7 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.7 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.7 \times 0.201} = 0.790 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.8 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.8 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.8 \times 0.201} = 0.862 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 0.9 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{0.9 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 0.9 \times 0.201} = 0.925 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_R = 1.0 \text{ 일 때 "X"}_{g(R)} &= \frac{1.0 \times 0.465 + 0.008}{0.28 + 1.0 \times 0.201} = 0.983 \end{aligned}$$

그러면 公式(14)를 사용하여 各各의 g (減速度)를
를 얻기 위한 P. L. P 을 구하여 보자.

$$P. L. P = \frac{W \times \text{"X"}_g + AF \times BF + AR \times BR}{AF + AR}$$

Laden 狀態

$$0.1 g \text{ 일 때 } P. L. P =$$

$$= \frac{12,093 \times 0.1 + 1.063 \times 69 + 0.404 \times 403}{1.063 + 0.404}$$

$$= 985 \text{KN/m}^2 \rightarrow 10 \text{kg/cm}^2$$

0.2 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 0.2 + 236.159}{1.467} = 1809.6 \rightarrow 18$$

0.3 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 0.4 + 236.159}{1.467} = 2633 \rightarrow 27$$

0.4 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 0.4 + 236.159}{1.467} = 3458 \rightarrow 35$$

0.5 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 0.5 + 236.159}{1.467} = 4282 \rightarrow 44$$

0.6 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 0.6 + 236.159}{1.467} = 5107 \rightarrow 52$$

0.7 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 0.7 + 236.159}{1.467} = 5931 \rightarrow 60.5$$

0.8 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 0.8 + 236.159}{1.467} = 6755 \rightarrow 68.9$$

0.9 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 0.9 + 236.159}{1.467} = 7580 \rightarrow 77$$

1.0 g 일때 P. L. P

$$= \frac{12,093 \times 1.0 + 236.159}{1.467} = 8404 \rightarrow 85.7$$

Driver only 狀態

0.1 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.1 + 236.159}{1.467} = 819 \rightarrow 8.4$$

0.2 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.2 + 236.159}{1.467} = 1477 \rightarrow 15$$

0.3 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.3 + 236.159}{1.467} = 2135 \rightarrow 21.7$$

0.4 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.4 + 236.159}{1.467} = 2793 \rightarrow 28.5$$

0.5 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.5 + 236.159}{1.467} = 3451 \rightarrow 35$$

0.6 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.6 + 236.159}{1.467} = 4109 \rightarrow 41.9$$

0.7 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.7 + 236.159}{1.467} = 4767 \rightarrow 48.6$$

0.8 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.8 + 236.159}{1.467} = 5425 \rightarrow 55.3$$

0.9 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 0.9 + 236.159}{1.467} = 6083 \rightarrow 62$$

1.0 g 일때 P. L. P

$$= \frac{9,653 \times 1.0 + 236.159}{1.467} = 6741 \rightarrow 68.7$$

그러면 laden과 driver only 狀態時 各各의 減速度("X" g)에 대한 idial torque 를 구하여 보자.

Laden 狀態

$$IT_r = W \left(\%F_s + "X" g \times \frac{H_t}{W \cdot B} \right) \mu_r \cdot RR$$

0.1 g 일때 IF_r

$$= 1234 \left(0.464 + 0.1 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \times 0.1 \times 0.275$$

$$= 16.4 \text{kg-m}$$

0.2 g 일때 IT_r = 1234 $\left(0.464 + 0.2 \times \frac{0.48}{2.337} \right)$

$$\times 0.2 \times 0.275 = 34.3 \text{kg-m}$$

0.3 g 일때 IT_r = 1234 $\left(0.464 + 0.3 \times \frac{0.48}{2.337} \right)$

$$\times 0.3 \times 0.275 = 53.5 \text{kg-m}$$

$$0.4 \text{ g 일때 } IT_f = 1234 \left(0.464 + 0.4 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.4 \times 0.275 = 74.1 \text{ kg-m}$$

$$0.5 \text{ g 일때 } IT_f = 1234 \left(0.464 + 0.5 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.5 \times 0.275 = 96.2 \text{ kg-m}$$

$$0.6 \text{ g 일때 } IT_f = 1234 \left(0.464 + 0.6 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.6 \times 0.275 = 119.6 \text{ kg-m}$$

$$0.7 \text{ g 일때 } IT_f = 1234 \left(0.464 + 0.7 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.7 \times 0.275 = 144.4 \text{ kg-m}$$

$$0.8 \text{ g 일때 } IT_f = 1234 \left(0.464 + 0.8 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.8 \times 0.275 = 170.6 \text{ kg-m}$$

$$0.9 \text{ g 일때 } IT_f = 1234 \left(0.464 + 0.9 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.9 \times 0.275 = 198.2 \text{ kg-m}$$

$$1.0 \text{ g 일때 } IT_f = 1234 \left(0.464 + 1.0 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 1.0 \times 0.275 = 227.2 \text{ kg-m}$$

$$IT_r = W \left(\%R_s - "X" \text{ g} \times \frac{H_r}{W \cdot B} \right) \mu_r \times RR$$

$$0.1 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.1 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.1 \times 0.275 = 17.5 \text{ kg-m}$$

$$0.2 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.2 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.2 \times 0.275 = 33.6 \text{ kg-m}$$

$$0.3 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.3 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.3 \times 0.275 = 48.3 \text{ kg-m}$$

$$0.4 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.4 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.4 \times 0.275 = 61.6 \text{ kg-m}$$

$$0.5 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.5 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.5 \times 0.275 = 73.5 \text{ kg-m}$$

$$0.6 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.6 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.6 \times 0.275 = 84.0 \text{ kg-m}$$

$$0.7 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.7 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.7 \times 0.275 = 93.2 \text{ kg-m}$$

$$0.8 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.8 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.8 \times 0.275 = 100.9 \text{ kg-m}$$

$$0.9 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 0.9 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 0.9 \times 0.275 = 107.2 \text{ kg-m}$$

$$1.0 \text{ g 일때 } IT_r = 1234 \left(0.536 - 1.0 \times \frac{0.48}{2.337} \right) \\ \times 1.0 \times 0.275 = 112.2 \text{ kg-m}$$

Driver only 狀態

$$0.1 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.1 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.1 \times 0.275 = 14.7 \text{ kg-m}$$

$$0.2 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.2 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.2 \times 0.275 = 30.6 \text{ kg-m}$$

$$0.3 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.3 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.3 \times 0.275 = 47.5 \text{ kg-m}$$

$$0.4 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.4 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.4 \times 0.275 = 65.5 \text{ kg-m}$$

$$0.5 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.5 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.5 \times 0.275 = 84.6 \text{ kg-m}$$

$$0.6 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.6 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.6 \times 0.275 = 104.7 \text{ kg-m}$$

$$0.7 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.7 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.7 \times 0.275 = 126.0 \text{ kg-m}$$

$$0.8 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.8 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.8 \times 0.275 = 148.3 \text{ kg-m}$$

$$0.9 \text{ g 일때 } IT_f = 980 \left(0.527 + 0.9 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.9 \times 0.275 = 171.7 \text{ kg-m}$$

$$1.0g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.527 + 1.0 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 1.0 \times 0.275 = 196.2 \text{ kg-m}$$

$$0.1g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.1 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.1 \times 0.275 = 12.2 \text{ kg-m}$$

$$0.2g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.2 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.2 \times 0.275 = 23.3 \text{ kg-m}$$

$$0.3g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.3 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.3 \times 0.275 = 33.4 \text{ kg-m}$$

$$0.4g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.4 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.4 \times 0.275 = 42.3 \text{ kg-m}$$

$$0.5g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.5 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.5 \times 0.275 = 50.2 \text{ kg-m}$$

$$0.6g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.6 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.6 \times 0.275 = 57.0 \text{ kg-m}$$

$$0.7g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.7 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.7 \times 0.275 = 62.7 \text{ kg-m}$$

$$0.8g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.8 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.8 \times 0.275 = 67.3 \text{ kg-m}$$

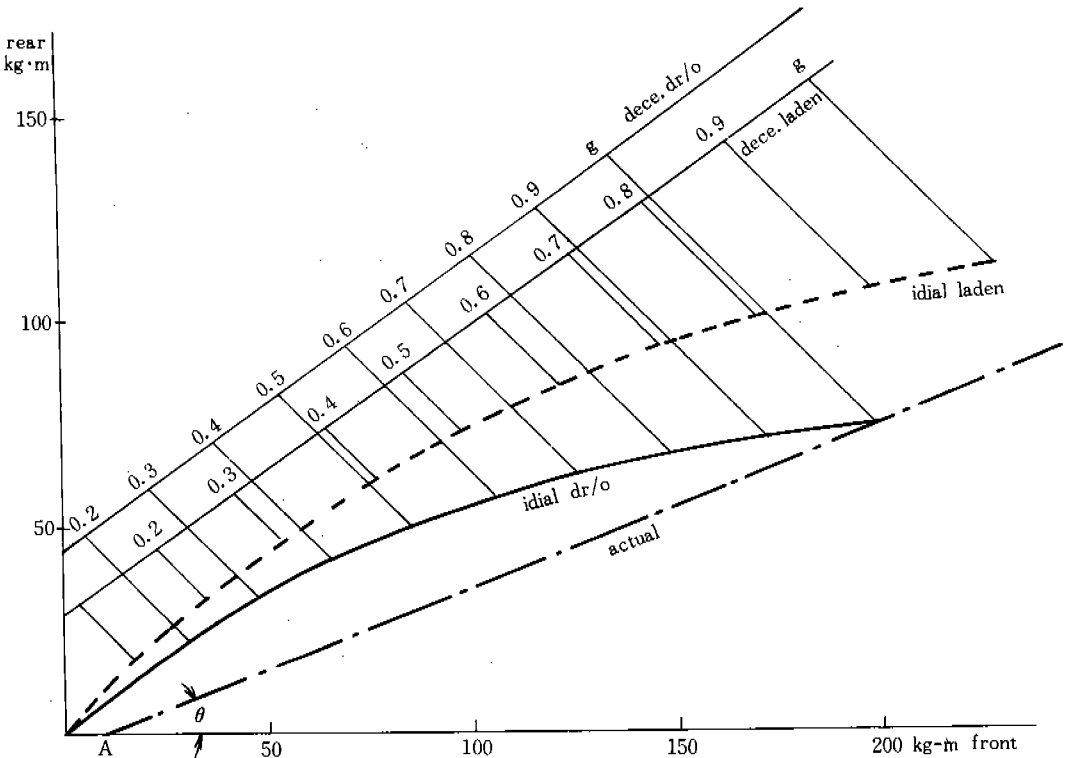
$$0.9g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 0.9 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 0.9 \times 0.275 = 70.8 \text{ kg-m}$$

$$1.0g \text{ 일때 } IT_r = 980 \left(0.473 - 1.0 \times \frac{0.47}{2.337} \right) \\ \times 1.0 \times 0.275 = 73.3 \text{ kg-m}$$

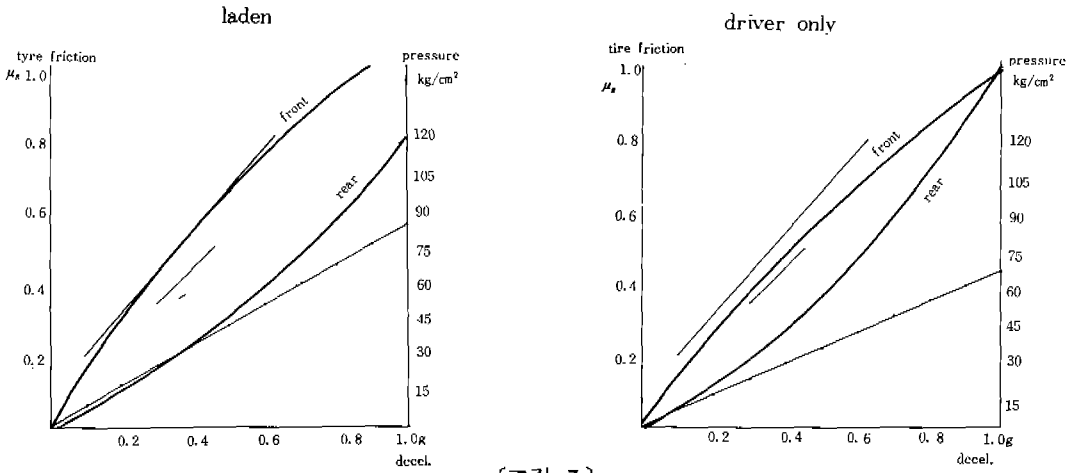
$$\text{Actual torque } (\theta = \tan^{-1} \frac{AR}{AF} = \tan^{-1} \frac{0.404}{1.063} = 20^\circ 48')$$

는 각도로 계산하여 직선을 그으면 얻어진다. 그리고 A 점은 front brake 와 rear brake 의 threshold pressure 의 차이로 구할 수 있다.

$$A = (BR - BF) \times \frac{\text{caliper}}{\text{area}} \times \frac{\text{effective}}{\text{radius}} \times \text{pad } \mu \\ = (403 - 69) \div 9.8 \div 10 \times 2 \times 36.17 \times 10.1 \times \\ 0.4 \div 100 = 9.96 \text{ kg-m}$$



[그림 6]

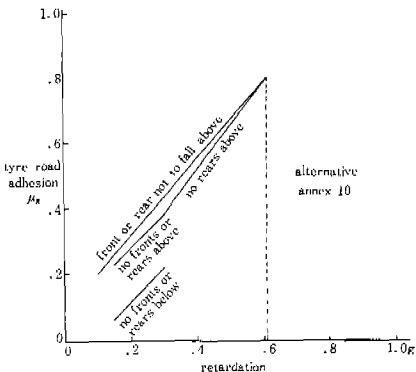
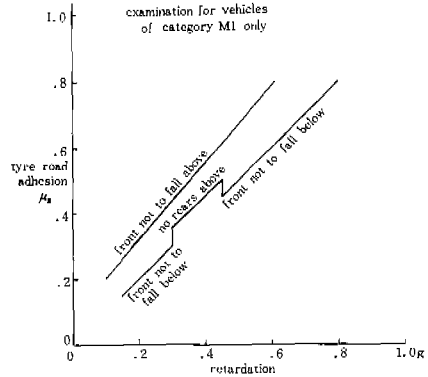
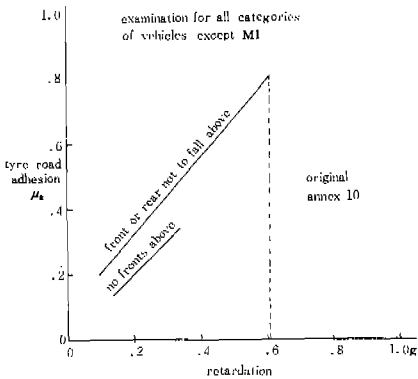


[그림 7]

위에서 계산한 수치들을 이용하여 graph로 그리면 그림 6, 그림 7 이 된다. 그림 7 을 보면 EEC 75 / 524 regulation 을 만족하므로 설계가 잘된 것이다. 만약에 맞지 않으면 일차 선정 한 brake data 를 수정 (wheel cyl. area, caliper bore area, drum radius, effective radius, pad μ , B.F. 등 등) 하여 다시 계산하여 맞추어야 한다. 선진국

에서는 이와같은 복잡한 계산을 피하고 쉽게 하기 위하여 micro computer 를 많이 사용하고 있다.

이상의 기술한 사항들이 brake 設計者에게 많은 도움이 되길 바라며 본 서술을 끝내려고 한다.



FMVSS 105-75 TEST PROCEDURE	NO. OF STOPS	MAX/LIGHT LADEN	NEUTRAL OR DRIVE	INITIAL VEHICLE SPEED (MPH)	MIN. BRAKING PERFORMANCE		PERMITTED CONTROL FORCE	
					DECEL ^N (FT/SEC ²)	DIST ^{CE} (FT)	FOOT (LB)	HAND (LB)
INSTRUMENTATION CHECK	≦ 10	-	-	30(40)	≦ 10			
1 ST (PRE-BURNISH) EFFECTIVENESS	6	M	N	30		57	15-150	
	6	M	N	60		216	15-150	
BURNISH PROCEDURE	200	M	D	40	12			
2 ND EFFECTIVENESS	6	M	N	30		54	15-150	
	6	M	N	60		204	15-150	
	4	M	N	80		383	15-150	
1 ST RE-BURNISH	35	M	D	30(40)	12			
PARKING BRAKE	2	M	-	-	30% GRADIENT (OR 20%+PAWL)		125	90
	2	L	-	-			125	90
3 RD EFFECTIVENESS	6	L	N	60		194	15-150	
PARTIAL FAILURE	4	L	D	60		456	15-150	
	4	M	D	60		456	15-150	
INOPERATIVE POWER/ASSIST	4	M	D	60		456	15-150	
1 ST FADE & RECOVERY	3	M	D	30	10		A=10/60	
	5	M	D	60	≧15			
	5	M	D	60	5-15			
	5	M	D	30	10		A+20/A-10 OR 0,6A	
2 ND RE-BURNISH	35	M	D	30(40)	12			
2 ND FADE & RECOVERY	3	M	D	30	10		B=10/60	
	10	M	D	60	≧15			
	5	M	D	60	5-15			
	5	M	D	30	10		B+20/B-10 OR 0,6B	
3 RD RE-BURNISH	35	M	D	30(40)	12			
4 TH EFFECTIVENESS	6	M	N	30		57	15-150	
	6	M	N	60		216	15-150	
	4	M	N	80		405	15-150	
	4	M	N	95/100		607/673	15-150	
WATER RECOVERY	3	M	D	30	10		C=10/60	
	5	M	D	30	10		C+45/C-10 OR 0,6C	
SPIKE STOPS	10	M	N	30			200 (IN 0,08SEC)	
	6	M	N	60		216		

SWEDISH BRAKING REGULATIONS F.18							
SUMMARY BRAKE PERFORMANCE TESTS				MOTOR VEHICLES		TRAILERS	
				KG	<3500	>3500	<3500
SERVICE BRAKE				ACTING ON ALL WHEELS PROPERLY DISTRIBUTED SYMMETRIC A/C VEHICLE			
				FL = FULLY LADEN AL = ANY LOADING			
1	EFFECTIVENESS TEST NEUTRAL-COLD-FL.	INITIAL SPEED MIN DECELERATION PEDAL EFFORT	KPH M/SEC ² KG	80 5.8 50	60 5.0 70	60 5.8	60 5.0
2	WHEEL LOCKING TEST ON O.6 TYRE-TO-ROAD „ NEUTRAL-COLD-AL.	NO WHEEL-LOCK NO REAR-LOCK BEFORE FRONT-LOCK	≤ M/SEC ² ≤ M/SEC ²	5.8 8.0	5.0	BUSES & 5000 KG.	
3	HIGH SPEED TEST NEUTRAL-COLD-FL.	INITIAL SPEED MIN DECELERATION PEDAL EFFORT	KPH M/SEC ² KG	80%VMAX 4.0 30			
4	FADE TEST BY REPEATED BRAKING IN GEAR-HOT-FL. FIRST SNUB AT 3.0 M/SEC ² REMAINING SNUBS AT SAME PEDAL EFFORT	V1 = 80% V MAX BUT V2 = 1/2 V1 TIME INTERVAL No. OF CYCLES MIN. DECELERATION	≤ KPH SECS — M/SEC ²	120 45 15 1.8	80 60 20 1.8	(100) (55) (15)	BUSES & 5000 KG.
5	FADE TEST BY CONTINUOUS BRAKING —HOT-FL.			PERFORMANCE TO BE > 80% OF TEST REQUIREMENT & > 80% OF TEST ACHIEVEMENT		DRAG TEST AT 40 KPH FOR 1.7 KM ON 7% SLOPE	
6	RESIDUAL EFFECTIVENESS AFTER TEST 4 OR 5 NEUTRAL-HOT-FL.						
7	WATER RECOVERY AFTER 2 MINS. SOAK NEUTRAL-COLD-FL.	INITIAL SPEED DECELERATION MAX. PEDAL EFFORT No. OF CYCLES	KPH M/SEC ² KG —	40 2.5 50 10/15	40 2.5 70 15		
8	RECOVERY EFFECTIVENESS AFTER TEST 7	PEDAL EFFORT AT- STOP No. 10 STOP No. 15	V. BASE PE	+20LB TO -40% +20% TO -40%			
EMERGENCY BRAKE				TEST 8 MAY BE OPERATED BY SERVICE OR PARKING BRAKE CONTROL			
9	CIRCUIT FAILURE NEUTRAL-COLD-AL.	INITIAL SPEED MIN. DECELERATION PEDAL EFFORT HAND LEVER EFFORT	KPH M/SEC ² KG KG	80 2.9 50 40	60 2.5 70 60		
10	POWER ASSIST FAILURE NEUTRAL-COLD-FL.	INITIAL SPEED MIN DECELERATION PEDAL EFFORT	KPH M/SEC ² KG	80 2.9 50	60 2.5 70		
PARKING BRAKE				CONTROL MUST BE INDEPENDENT OF SERVICE BRAKE CONTROL			
11	DYNAMIC TEST	INITIAL SPEED	KPH	20	20	20	20
12	HILL-HOLDING TEST ON O.6 TYRE-TO-ROAD „ NEUTRAL-COLD-AL.	GRADIENT HAND-LEVER EFFORT FOOT-OPERATED EFFORT	% KG KG	15 40 50	15 60 70	15 60	15 60

Summary of Swedish brake performance requirements.

SUMMARY ECE REGULATION 13 & EEC DIRECTIVE 71/320															
BRAKE PERFORMANCE TESTS				CARS & BUSES			TRUCKS			TRAILERS					
FL=FULLY LADEN AL=ANY LOADING		VEHICLE CLASSIFICATION No. OF PASSENGER SEATS (+DRIVER) MAX. VEHICLE WEIGHT (TONNES)		M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄		
				≤ 8	> 8	> 8	≤ 3 1/2	3 1/2-12	> 12	≤ 3 1/2	3 1/2-10	3 1/2-10	> 10		
SERVICE BRAKE ACTING ON ALL WHEELS PROPERLY DISTRIBUTED SYMMETRIC A/C VEHICLE															
1 EFFECTIVENESS TEST (TYPE 0 TEST) INITIAL SPEED KPH STOPPING DISTANCE M MIN. DECELERATION M/SEC PEDAL EFFORT KG NEUTRAL - COLD - AL				80	80	80	70	50	40	SERVICE BRAKE IS OPTIONAL	OVERHEAT PROTECTED EXCEPT FOR SEMI-TRAILERS	TYRE DRAG ≥ 0.45 OF TRAILER MAX. WEIGHT (USING 6.5 BARS)			
				0.1V+V ² /180	0.15V+V ² /130	8.0	4.4	0.15+V ² /115	4.4						
				5.8	5.0	8.0	7.0	7.0	7.0						
				50	70	70	70	70	70						
2 HIGH SPEED TEST (TYPE 0 TEST) IN GEAR - COLD - AL				EFFECTIVENESS TESTS VARIOUS SPEEDS FROM 30% TO 80% OF V MAX.											
3 FADE TEST (TYPE I TEST) BY REPEATED BRAKING V ₁ =80% V MAX. BUT ≤ KPH V ₂ =1/2 V TIME INTERVAL SECS IN GEAR - HOT - FL No. OF CYCLES FIRST SNUB AT 3.0 M/SECS REMAINING SNUBS AT SAME PEDAL EFFORT				120	100	80	120	80	80						
				45	55	60	55	60	60						
				15	15	20	15	20	20						
4 FADE TEST (TYPE I TEST) HOT - FL BY CONTINUOUS BRAKING				DRAG TEST AT 40 KPH FOR 1.7 KM ON 7% SLOPE.											
5 RESIDUAL EFFECTIVENESS AFTER TYPE I TESTS. NEUTRAL - HOT - FL				PERFORMANCE TO BE ≥ 80% OF TEST 1 REQUIREMENT AND ≥ 80% OF TEST 1 ACHIEVEMENT.											
6 DRAG TEST (TYPE II TEST) IN GEAR - HOT - FL				DRAG TEST AT 30 KPH FOR 6 KM ON 5% SLOPE (OR 0.5 M/acc ² BY ENGINE ALONE).											
6a DRAG TEST (TYPE II BIS TEST) IN GEAR - HOT - FL (FOR P.S.V. WITH > 8 PASS. SEATS AND MAX. WEIGHT > 10T.)				DRAG TEST AT 30 KPH FOR 6 KM ON 7% SLOPE (OR 0.6 M/acc ² BY ENGINE ALONE) - WITHOUT USING SERVICE, EMERGENCY OR PARKING BRAKE.											
7 RESIDUAL EFFECTIVENESS AFTER TYPE II TEST. NEUTRAL - HOT - FL N.B. TYPE II TESTS ONLY APPLY TO M3 - M3 - O4.				PERFORMANCE TO BE 275% OF TEST 1 REQUIREMENT.											
EMERGENCY BRAKE MAY BE OPERATED BY SERVICE OR PARKING BRAKE CONTROL															
8 SERVICE BRAKE FAILURE (TYPE 0 TEST) INITIAL SPEED KPH STOPPING DISTANCE M MIN. DECELERATION M/SEC PEDAL EFFORT KG HAND LEVER EFFORT KG NEUTRAL - COLD - AL				80	80	80	70	50	40						
				0.1V+2V ² /150	0.15V+2V ² /130	0.15V+2V ² /115									
				2.9	2.5	2.5	2.2	2.2	2.2						
				50	70	70	70	70	70						
				40	60	60	60	60	60						
8a POWER ASSIST FAILURE AS 8 BY SERVICE BRAKE OR AS 10 IF PB=EB				N.B. EMERGENCY BRAKES (AND DIVIDED CIRCUITS) OF TRACTORS FOR O-0, TRAILERS MUST ALSO ACTIVATE TRAILER BRAKES GRADUALLY											
PARKING BRAKE CONTROL MUST BE INDEPENDENT OF SERVICE BRAKE CONTROL															
9 HILL HOLDING TEST GRADIENT % HAND - LEVER EFFORT KG FOOT - OPERATED EFFORT KG NEUTRAL - COLD - FL N.B. ALL PARKING BRAKES MUST BE CAPABLE OF APPLICATION "IN MOTION"				18	18	18	18	18	18	PARKING BRAKE IS OPTIONAL	N.B. OPERABLE FROM OUTSIDE (AND FROM WITHIN ON P.S.V.) WHEN SEPARATED FROM TRACTOR				
				40	60	60	60	60	60						
				50	70	70	70	70	70						
				N.B. PARKING BRAKE OF TRACTORS MUST HOLD COMBINATIONS ON 12% SLOPE											
DIVIDED CIRCUITS OPERATED BY SERVICE BRAKE CONTROL ON SUFFICIENT WHEELS															
10 CIRCUIT FAILURE MIN. DECELERATION (M/SEC ²) FL WITH 70 KG PEDAL EFFORT LL NEUTRAL - COLD - AL N.B. NOT APPLICABLE TO TRACTORS FOR SEMI-TRAILERS WITH INDEPENDENT SERVICE BRAKES.				1.74	1.50	1.50	1.32	1.32	1.32						
				1.45	1.28	1.50	1.10	1.100	1.32						
				AFTER 1 OCT. 1974			AFTER 1 OCT. 1974								

Summary of ECE/EEC brake performance requirements.