

制動裝置의 設計에 있어서 制動토크配分에 關하여

On the braking torque distributions
in the design of the brake system

朴 來 昱

(現代自動車(株) 製品開發研究所)

차량의 制動裝置는 制動時 차량의 操向安定성을 유지하면서 최소한의 制動距離를 확보하는 장치라 할 수 있다. 제동시 차량의 操向安定성 유지와 最小制動距離를 확보하기 위해서는 차량의 적절한 制動能力에 필요한 全制動토크를 前後輪의 制動裝置에 適當하게 配分시켜야 한다. 그러나 차량의 각 차륜의 하중 상태는 여러 가지 적재상태와 제동시 중량이동 등에 따라 변하게 되므로 고정된 제동장치로서는 전후륜의 제동토크를 可變시킬 수 없어 設計時 빈도가 높은 條件에 맞추어 제동장치의 구성부품을 決定할 수 밖에 없다. 차량에 따라서는 軸荷重狀態의 변화가 큰 경우와 共用化를 위하여 여러 모델의 차량에 同一制動裝置를 적용하려고 할 경우에 문제점이 따르기 마련이다. 本稿에서는 제동장치의 前後輪의 제동토크 配分에 대하여 고찰하여 設計概念을 把握하고자 한다.

A. Wheel skid 와 Braking efficiency

제동토크배분은 차량의 操向安定성과 制動距離 측면에서 wheel skid의 영향을 고찰함으로써 적절하게 설명될 수 있다(여기서 wheel skid라 함은 車輪固着 即 타이어와 路面사이에서 完全히 미끄러짐을 意味한다). wheel skid의 영향은 아래와 같다.

1. Wheel skid는 운전자의 차량操向能力의 一部 또는 全部를 상실하게 한다.

前輪이 固着되면 차량의 조향능력은 상실하지만 차량은 계속 직진하게 되고 제동을 풀면 조향능력은 다시 회복된다. 그러나 後輪이 固着되면 조향능력은 일부 可能하지만 차량의 방향성은 없어져

所謂 fish tail 現象이 일어난다. 여러 가지 시험조사 보고에 의하면 노련한 운전자들도 아주 낮은 속도를 제외하고는 後輪 skid 동안에 조향능력 확보는 거의 어렵다고 한다. 차량의 조향안정성의 觀點에서 보면 前輪 skid가 일반적으로 後輪 skid보다 바람직하나 저속도에서 조향능력 확보의 觀點에서 보면 後輪 skid가 바람직하다. 만약 운전자가 전륜 또는 후륜 skid후에도 제동을 유지시키면 4輪 skid가 일어나게 된다. 이 경우에는 운전자는 조향능력을 상실하게 되고 차량은 4輪 skid 직전의 방향으로 직진하게 된다.

2. Wheel skid는 타이어와 路面사이의 마찰에 의한 減速度를 低下시킨다.

Wheel skid시 감속도의 低下율은 건조한 路面에서는 5~20%이지만 젖은 노면에서는 50%까지 저하시킨다는 報告가 있다. 실제 이 저하량은 타이어와 노면에 따라 변한다. 예를들면 이 저하량은 아스팔트노면보다 잘 닦인 콘크리트 노면에서 훨씬 크다. 조향능력 상실과 함께 갑작스러운 감속도의 저하는 운전자에게 매우 위험하다.

위에서 설명한 바와 같이 제동장치는 wheel skid가 극소화되도록 설계되어야 함이 명확하다. 제동토크配分 即 前後輪제동토크 사이의 actual braking ratio는 차량의 wheel skid를 決定하는 設計要素이다. 차량에서 실제의 제동토크배분이 어떻게 wheel skid를 최소화하는가를 評價하기 위한 객관적인 방법으로 braking efficiency (제동효율)을 도입한다. 제동효율은 wheel skid時 차량의 실제 감속도와 주어진 노면에서 얻을 수 있는 최대감속도의 比로 定義된다. Adhesion utilization 개

념으로 定義하면 車輪固着前에 이용할 수 있는 노면과 타이어사이의 실제 마찰계수와 실제 braking rate와의 비이다. 여기서 braking rate라 함은 차량의 감속도를 중력 가속도 (g)로 除한 값이다.

4輪이 모두 동시에 wheel skid 直前狀態(臨界 wheel skid)라면 최대감속도를 얻을 수 있다. 臨界 wheel skid는 타이어와 노면사이의 마찰저항이 최대이고 제동토크가 조금이라도 더 증가된다면 차륜고착이 일어나는 상태이다. 일반적으로 타이어와 노면사이에 약 20%의 미끄럼이 일어난다. 4輪臨界 wheel skid는 前後輪 제동토크 사이의 actual braking ratio가 車輪에서 前後輪 動的荷重사이의 비와 一致할 때 4輪 skid가 발생된다. 이런 상태가 존재한다면 최대감속도가 발생되고 제동효율은 1이 된다. 이러한 상태의 前後輪 動的荷重사이의 비를 ideal braking ratio라고 한다. 다시 말하면 ideal braking ratio는 wheel skid 없이 최대감속도를 얻을 수 있는 actual braking ratio를 말한다.

實際에 있어서 現用 제동장치에서는 모든 제동상태하에서 actual braking ratio와 ideal braking ratio가 一致하지 않고 actual braking ratio는 ideal braking ratio보다 크거나 작거나 하며 차량의 制動性能에 대한 效果는 다음과 같다.

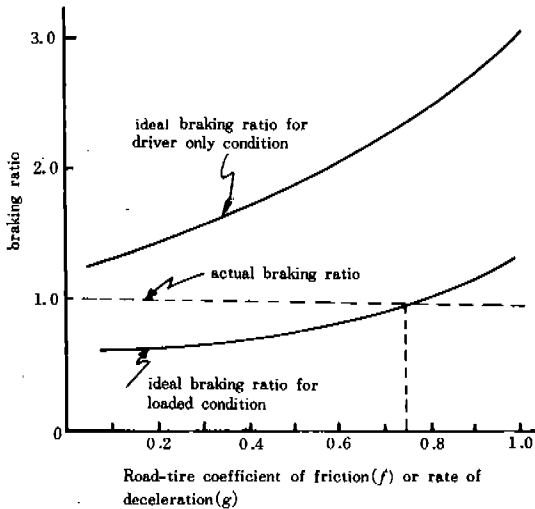


그림 1. Braking ratio와 road-tire coefficient of friction과의 관계의 예

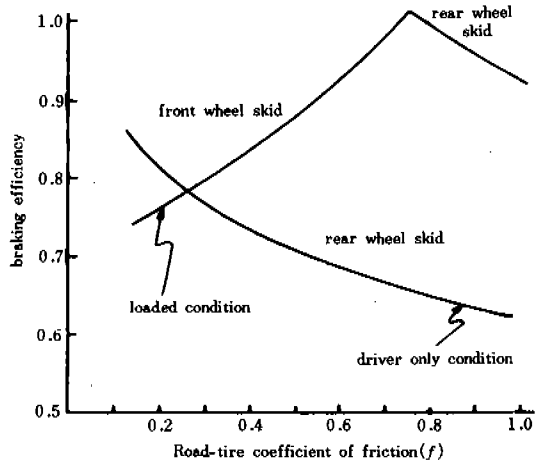


그림 2. Braking efficiency와 road-tire coefficient of friction의 관계 (actual braking ratio = 1.0)

타이어와 노면사이에 一定한 摩擦係數下에서 actual braking ratio가 ideal braking ratio보다 크면 前輪제동토크는 前輪을 固着시키기에 充分한 제동토크를 갖고 있고 後輪제동토크는 後輪을 固着시키기에 不充分한 제동토크를 갖고 있음을 의미하며 이러한 때는 前輪 skid만 일어난다. 이 경우에는 4輪 skid 상태에는 도달할 수 없으며 제동효율은 1보다 작게 된다. 반대로 actual braking ratio가 ideal braking ratio보다 작으면 後輪 skid만 일어나며 제동효율도 역시 1보다 작게 된다.

예를들면 ideal braking ratio가 積載時 및 driver only時 그림 1과 같다면 예상한대로 ideal braking ratio는 制動時 후륜에서 전륜으로 중량이 이동되기때문에 減速이 增加함에 따라 增加한다. 이 차량이 前後輪의 제동장치가 同一한 것이 장착되어 있고 前後 wheel cylinder가 同一油壓에 의해 작동된다고 假定하면 前륜과 후륜의 제동 토크는 항상 같고 actual braking ratio는 1이다. 이것은 그림 1에서 점선과 같이 表示되며 tire-road 마찰계수 $f=0.75$ 에서 적재상태의 ideal braking ratio curve와 만나게 된다. 그러므로 적재상태의 이 차량은 $f=0.75$ 의 노면에서는 wheel skid가 發生하기 直前に 이 차량이 얻을 수 있는 최대감속도에 到達될 수 있고 이때 제동효율은 1이 된다.

0.75 以外の f 에서는 actual braking ratio 는 ideal braking ratio 보다 크거나 작거나 하며 제동효율은 1 보다 작다. 이 차량의 제동효율은 그림 2 와 같이 表示된다. Driver only 상태에서는 모든 노면에서 제동효율이 1 보다 작고 항상 후륜 skid가 先行한다. 적재상태에서는 f 가 0.75 보다 작은 노면에서 전륜 skid가 先行하고 0.75 보다 큰 노면에서 후륜 skid가 先行한다.

B. 최적의 Actual braking ratio

실제 차량에서는 一定한 actual braking ratio 를 갖게 된다. 一定한 braking ratio 는 모든 노면상태와 적재상태하에서 최대제동효율을 만족시킬 수 없고 아래와 같은 考察을 바탕으로 設計者가 妥協(compromise)하여 선정하여야 한다.

1. 제동효율은 차량이 가장 빈번하게 주행할 수 있는 노면상태에서 극대화하여야 한다.

現在 타이어와 노면사이의 일반적인 마찰계수는 각종 문헌에서 쉽게 조사될 수 있으나 정확한 값은 타이어의 트레드형상, 타이어의 마모상태, 차량의 속도, 노면위의 퇴적물 및 표면의 거칠기 등에 따라 변한다.

2. 제동효율은 각 차량의 特性에 따라 가장 흔히 사용될 수 있는 하중상태에서 극대화하여야 한다.

그림 2 를 다시 檢討하면 고정된 actual braking ratio 1.0 은 이 차량의 항상 만적재상태에서 운행되지 않는다면 적당하지 못하다. 운전자만 탄 상태에서는 모든 노면에서 작은 제동효율로 후륜 skid가 先行된다. 그림 3 과 같이 actual braking ratio 를 1.3 으로 증가시키면 운전자만 탄 상태와 만적재상태에서 제동성능은 균형을 갖게 된다. 만약 운전자만 탄 상태에서 제동성능을 向上 시키려면 actual braking ratio 를 그림 4 와 같이 1.5 로 증가시키면 된다.

그림 2, 3 그리고 4 는 actual braking ratio 를 증가시키면 前輪 skid 의 양은 增加하고 後輪 skid 의 양은 減少하며 운전자만 탄 상태에서 제동효율은 증가하고 만적재상태에서의 제동효율은 감소한다는 것을 보여 주고 있다.

Actual braking ratio 는 wheel cylinder bore size, return spring 의 張力 그리고 주어진 라이닝과 드

럼(또는 디스크)사이의 마찰계수에서의 brake dimension(brake torque factor) 등의 函數이다. 제동효율은 실제에 있어서 흔히 사용되지 않는 최대 감속율과 관계가 있기 때문에 上記要素들은 차량의 사용자들에게 직접 이해관계가 있는 라이닝 마모율 등과 같은 설계문제의 觀點에서 考慮되어야 할 것이다.

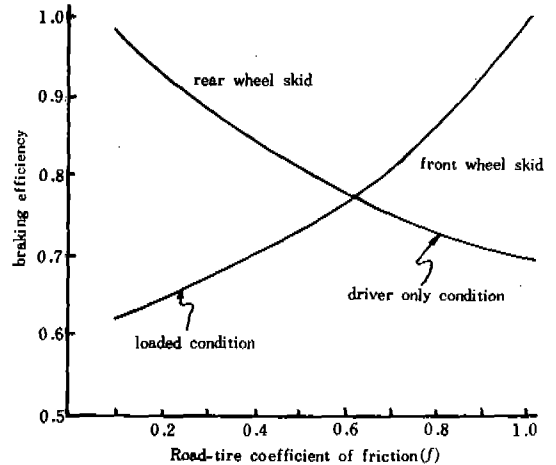


그림 3. Braking efficiencies with actual braking ratio=1.3

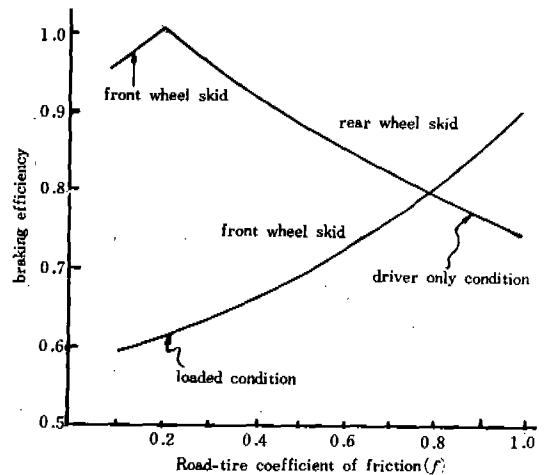


그림 4. Braking efficiencies with actual braking ratio=1.5

C. Variable braking ratio와 anti-skid devices.

Variable braking ratio device 는 제동효율을 개선

하기 위해 대부분의 차량적재상태와 노면상태에서 actual braking ratio와 ideal braking ratio를 비슷하게 일치시키기 위해 고안된 장치로 현재까지 개발되어 널리 사용되는 것으로 다음과 같은 것들이 있다.

1. Deceleration sensitive valve—차량의 감속도가 증가함에 따라 actual braking ratio를 증가시키는 장치이다.

2. Pressure sensitive valve—제동회로의 높은油壓(높은 감속도)에서 후륜 제동장치의 유압을 제한하거나 감소시켜 actual braking ratio를 증가시키는 장치이다.

3. Load sensitive valve—車軸의 하중상태를感知하여 actual braking ratio를 변경시키는 장치이다.

上記 모든 장치가 제동효율을 증가시키지만 복잡성, 信賴性 및 원가상승 등에 의해 적용이 제한되고 있다.

Anti-skid 장치는 차륜고착을 防止하고 모든 제동조건하에서 차량의 제동능력을 유지하기 위해 개발된 장치로 아직까지 널리 使用할 수 있을 정도의 것은 개발되어 있지 않다.

以上에서 고찰한 바와 같이 차량의 제동장치를 選定 設計時 제동토크配分の 적절여부에 따라 차량의 제동성능에 至大한 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 끝으로 제동토크配分과 관련하여 규제된 선진국의 법규중에서 구주공동시장(EEC)의 법규를 살펴 보고 끝맺고자 한다.

EEC Directive 71/320/EEC의 Annex II - Appendix의 "Distribution of Braking Effort among Vehicle Axles"에서 다음과 같이 요구하고 있다. 여기서 z 는 전술한 바 있는 braking rate 이고 k 는 tire-road의 理論마찰계수이다.

1. 운전자를 제외하고 최대 8인 승차할 수 있는 4輪 乘用車의 경우,

k 가 0.2에서 0.8사이일때 $z \geq 0.1 + 0.85(k - 0.2)$ 를 만족하여야 하고 차량의 모든 하중상태와 0.15에서 0.8사이의 모든 z 에서 前論의 Adhesion utilization curve는 後輪의 Adhesion utilization curve보다 위에 있어야 한다. 그러나 0.3에서 0.45사이의 z 값에서 後輪의 Adhesion utilization curve가 $z \geq k - 0.05$ 를 만족한다면 後輪의 Adhesion utilization curve가 前輪의 Adhesion utilization curve보다 위에 있는 것도 허용된다(그림 5 참조).

2. 1항의 차량을 제외한 4輪차량의 경우,

k 가 0.2에서 0.8사이일때 $z \geq 0.1 + 0.85(k - 0.2)$ 를 만족하여야 하고 차량의 모든 하중상태와 0.15에서 0.3사이의 모든 z 값에서 前輪의 Adhesion utilization curve는 後輪의 Adhesion utilization curve보다 위에 있어야 한다. 또한 0.15에서 0.3사이의 前後輪의 Adhesion utilization curve가 $z \leq k - 0.08$ 과 $z \geq k + 0.08$ 의 범위에 있고 0.3이상의 모든 z 값에서 後輪의 Adhesion utilization curve가 $z \geq 0.3 + 0.74(k - 0.38)$ 를 만족하여야 한다(그림 6 참조). (完)

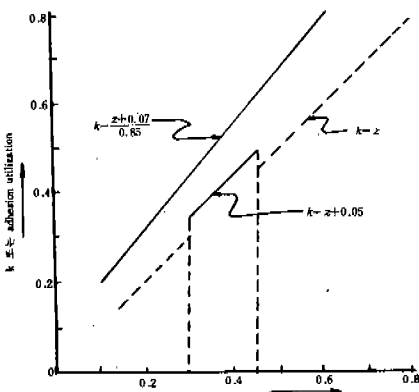


그림 5.

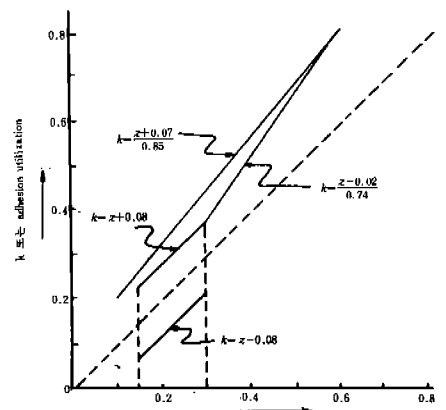


그림 6.