

C군의 B급 잡설, 토크와 마력 - 폼나게 영어로 쓰면 Torque and Horse Power

+ 조인준 KBS 기술연구소 차장



자동차 이야기로 시작한 연재에서 갑자기 뜬금없는 산수 이야기로 두 번에 걸쳐 널을 뛰고 난 후, 이번 연재에서는 다시 자동차 이야기로 복귀하겠습니다. 앞으로도 연재를 이어나감에 있어 시류에 편승하거나 지루함을 탈피하기 위한 수단으로 소재의 널뛰기가 종종 발생할 것 같습니다. 하지만 독자 여러분의 혼란을 최소화하기 위하여 한 가지 소재에 관한 연재가 완결되고 난 후에 다른 소재로 넘어가도록 하겠습니다. 사실 깊이가 그다지 없는 C군의 연재이기에 소재의 널뛰기에 인해 전달하고자 하는 내용의 이해가 힘들어지는 경우는 절대 없을 것입니다. 다만, C군의 걱정은 소재의 널뛰기가 독자 여러분의 피로를 유발하지는 않을까 하는 것에 있습니다. 심심풀이 땅콩처럼 부담스럽지 않은 소재의 전개는 좋으나 널뛰기가 피곤해지는 경우가 생기더라도 부디 독자 여러분의 너그러운 양해를 부탁드립니다.

이번 연재에서는 자동차를 구매할 때 많은 남자들이 관심을 갖고 고려하는 수치이며, 자동차 광고에서도 심심치 않게 강조하는 엔진출력에 관해서 짧은 썰을 풀어보려고 합니다. 흔히 신차가 출시되면 우선 전면적 광고가 시작됩니다. 광고의 중요한 포인트 중 하나는 '204마력의 1.6 직분사 터보엔진 탑재', '최고출력 315마력의 럭셔리 세단' 등의 광고문구로 높아진 엔진 출력을 내세우는 것이 거의 공식과도 같습니다. 그리고 곧이어 각종 미디어를 통한 자동차 전문가들과 유명 자동차 블로거들의 시승기가 인터넷에 번지기 시작합니다. 이런 시승기들을 보면 시승자가 하는 말 중에 마력과 함께 자주 듣게 되는 말이 '안정된 토크감', '저속에서도 묵직한 토크' 등과 같은 토크에 관련된 평가입니다. 마력과 토크, 폼나게 영어로 쓰면 Torque and Horse Power, 엔진의 힘을 이야기할 때 자주 등장하기는 하는데 왜 어떤 때는 마력을 이야기하고, 또 어떤 때는 토크를 이야기하며 사람을 헷갈리게 하는 걸까요? 대개 토크는 끄는 힘이라고 하고 마력은 치고 나가며 가속하는 힘이라고 하는데 그게 어떤 차이가 있는 것인지 생각하다 보면 알쏭달쏭해지고 맙니다. 이 알쏭달쏭한 상태에서 뭐라도 건져볼라고 깊게 들어가다 보면 역효과가 서서히 나타나기 시작하며 중국엔 토크와 마력이 서로 상관이 있는 값들인지 상관이 없는 값들인지도 헷갈리고 맙니다. 이에 C군이 나서서 토크와 마력에 관한 모호함을 날려버리도록 하겠습니다.

$$\text{마력(ps)} = \frac{\text{토크(kg} \cdot \text{m)} \times \text{RPM}}{716}$$

$$\text{또는 마력(ps)} = \frac{\text{토크(kg} \cdot \text{m)} \times \text{RPM}}{726}$$

$$\text{마력(ps)} = \frac{\text{토크(N} \cdot \text{m)} \times \text{RPM}}{7025}$$

$$\text{우선 마력(ps)} = \frac{\text{토크(N} \cdot \text{m)} \times \text{RPM}}{7122}$$

수식 1

토크와 마력이 서로 어떻게 연관되어 있는지 알고 시작하는 것이 좋을 것 같습니다. 일단, 간단하게 정리하면 토크와 마력의 관계는 [수식 1]과 같습니다. [수식 1]에서 사용하는 단위에 따라서 분모가 서로 다른데 이것은 영국과 프랑스의 도량형 차이에 기인하는 것이므로 근본 원리는 다르지 않습니다. 그러면 어떻게 저런 식이 나왔을까요? 그 유도과정을 기초 물리학을 바탕으로 C군이 천천히 풀어드리겠습니다. 물리학을 바탕으로 설명해야 하므로 마력과 토크의 정의를 환기시킨 후 식을 유도하겠습니다.

◎ 마력 : Horse Power

마력은 영어로 Horse Power입니다. 우리는 일상적으로 Power라는 말에서 '힘(Force)'의 느낌을 강하게 받지만 Power의 물리학적 의미는 힘과는 조금 다른 일률입니다. 기억을 더듬어 보면 일률이라는 것은 단위 시간당 할 수 있는 일의 양이라는 고등학교 물리 교과서의 내용이 새록새록 떠오를 것입니다. 일률(Power)은 일률인데 말이 하는 일률이 마력(Horse Power)입니다. 정리하면 말이 1초에 할 수 있는 일에 관한 양을 표현한 것이 마력입니다.

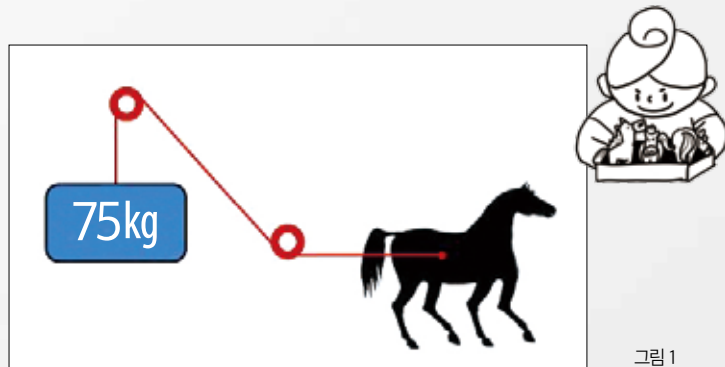


그림 1

증기기관이 처음 발명되었을 때 증기기관이 대체할 대상이 말이었다고 합니다. 그래서 증기기관이 할 수 있는 일의 양을 말과 비교하여 증기기관의 능력을 표시했다고 합니다. 당시의 말은 한 마리가 대략 75Kg의 무게를 1초에 1미터 정도 끌어 올릴 수 있었다고 합니다. 들은 풍문이라서 확실하지는 않지만 요즘 말들은 그때의 말들과 비교하여 매우 발육과 영양이 우수한 관계로 75Kg보다 훨씬 더 무거운 무게를 1초에 1미터 들어 올릴 수 있다고 합니다(100% 신뢰할 수 없는 정보이니 재미로 흘리시기 바랍니다). 재미난 것은 마력이 야드-파운드법에 따른 영국식 단위 hp(horse power)와 미터법에 따른 프랑스식 단위 ps(pferdestärke)로 다르게 표시될 수 있다는 것입니다. 실제로 영국식과 프랑스식에 따른 마력의 계산이 본질적으로 다르지는 않지만 적용되는 무게와 길이 및 중력가속도의 값이 달라서 서로 약간 다른 값을 가지게 됩니다. 마력을 우리가 고등학교 물리를 통해서 친숙해진 미터법을 이용한 와트(W)로 환산하여 이해를 돕겠습니다. 미터법을 이용하였으니 여기에서 계산된 와트(W)는 프랑스식 마력에 대응되는 와트(W)값이 됩니다. 이미 알고 있듯이 일[W, 단위 : J(줄)]은 힘[F, 단위 : N(뉴턴)]과 이동거리[S]의 곱으로 [수식 2]와 같이 정의됩니다.

$$W = F \cdot S$$

수식 2

마력은 일률로써 단위 시간에 할 수 있는 일의 양이므로 [수식 2]의 W를 일을 수행한 전체시간으로 나누어 주면 됩니다. 그러면 식에 수치를 하나씩 대입해보겠습니다. 질량 75Kg의 물체를 중력가속도 9.8119m/s²에 대하여 이동시키므로 물체에 적용되는 힘 $F = m \cdot a = 75\text{Kg} \cdot 9.80665\text{m/s}^2 = \text{약 } 735.5\text{N(뉴턴)}$ 이 됩니다. 여기에 1초에 1미터를 움직였으므로 일률은 약 $735.5\text{N} \cdot \text{m/s} = 735.5\text{W(와트)}$ 가 됩니다.

참고로 영국식 마력을 와트(W)로 환산하면 745.7W가 됩니다. 자동차 제원표에서 엔진의 출력 표시 단위가 hp이면 영국식이므로 1hp = 745.7W, ps이면 프랑스식이므로 1ps = 735.5W를 적용하여 환산하면 됩니다.

◎ 토크 : Torque

‘토크’라는 단어가 친숙한 독자도 계실 것 같고, 약간은 낯선 독자도 계실 것 같습니다. 토크의 라틴어원은 torquere(to twist)입니다. 무언가를 비튼다는 것은 그 물체에 회전하는 힘을 가한다는 것이죠? 그러므로 Torque는 말 그대로 회전력입니다.

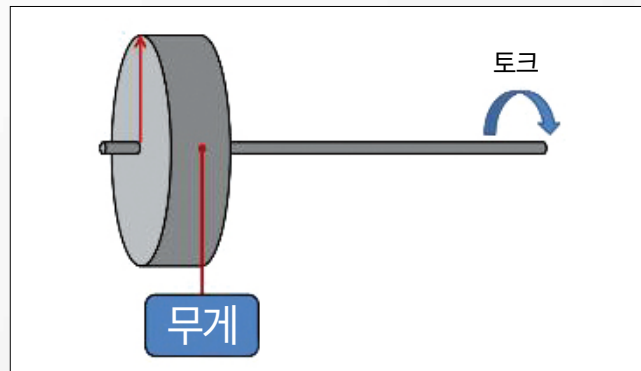


그림 2



토크의 물리학적 의미는 [그림 2]와 같습니다. 어느 회전축을 기준으로 그 축의 중심에서 직각으로 떨어진 곳에 임의의 질량을 가진 물체가 매달려 있을 때 그 물체에 의해서 회전축에 전달되는 회전력이 토크입니다. 토크는 [수식 3]과 같이 정의됩니다.

$$\tau = \mathbf{r} \cdot \mathbf{F}$$

τ : 토크, $\mathbf{r}$: 회전축까지의 변위, $\mathbf{F}$: 힘

수식 3

회전축으로부터 1m 지점에 있는 1Kg의 추에 의한 토크를 계산하면 $1\text{Kg} \cdot 9.80665\text{m/s}^2 \cdot 1\text{m} = 9.80665\text{N} \cdot \text{m}$ 이 됩니다. 만약 1Kg의 추가 회전축으로부터 2m 떨어진 지점에 매달려 있다면 회전축에 전달되는 토크는 $1\text{Kg} \cdot 9.80665\text{m/s}^2 \cdot 2\text{m} = 9.80665 \cdot 2\text{N} \cdot \text{m} = 19.6133\text{N} \cdot \text{m}$ 이 됩니다. 이를 역으로 생각하면 어느 회전축이 9.80665N·m의 토크를 가지고 있다면 중심으로부터 1m 떨어져 매달려 있는 1Kg의 물체를 들어 올릴 수 있다는 것입니다. 또한 그 회전축이 19.6133N·m의 토크를 가지고 있다면 중심으로부터 2m 떨어져 매달려 있는 1kg의 물체를 들어 올리거나, 중심으로부터 1m 떨어져 매달려 있는 2kg의 물체를 들어 올릴 수 있다는 것입니다. 지렛대의 원리처럼 일상적인 경험과 일치하는 결과이므로 쉽게 이해가 될 것입니다. 한 가지 주의할 점은 토크의 표시 단위를 주의 깊게 봐야 한다는 것입니다. 토크의 표시 단위가 N·m인 경우는 9.80665N·m가 회전축으로부터 1m 지점에 있는 1kg의 추에 의한 토크가 되지만 표시 단위가 kg·m인 경우는 kg이 중력가속도까지 포함하고 있는 것이므로(이유는 질량이 아닌 무게로 해석되기 때문인 것 같습니다.) 1kg·m이 회전축으로부터 1m 지점에 있는 1kg의 추에 의한 토크가 됩니다.

◎ 엔진의 토크와 마력

그러면 토크와 마력은 어떻게 서로 연관이 되는지 [그림 3]을 통해서 설명하도록 하겠습니다.

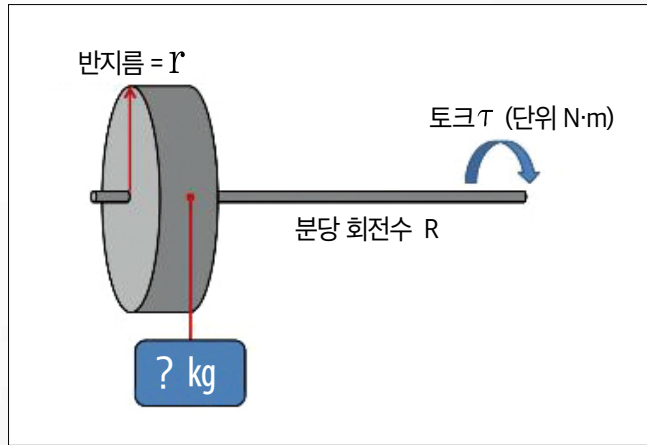


그림 3

1마력은 75kg의 물체를 1초에 1미터를 들어 올리는 일의 양입니다. 그러므로 토크 τ 를 가지고 분당 R번의 회전을 하는 축의 동력을 통해 임의의 무게를 1초에 몇 미터 들어 올릴 수 있는지 계산을 하면 그것이 마력과 토크의 변환식이 됩니다. 그럼 시작해보겠습니다.

[그림 3]에서 회전축에 연결된 원통에 의해 물체가 1초에 끌어올려 지는 거리는 원주의 길이 $2 \cdot 3.14 \cdot r$ 와 초당 회전수 $R/60$ 을 곱한 것입니다. 그리고 토크식 $\tau = r \cdot F$ 에서 알 수 있듯이 이 물체에 작용하는 힘은 $F = \tau/r$ 입니다. 물체가 τ/r 의 힘으로 $2 \cdot 3.14 \cdot r \cdot R/60$ 의 거리를 이동하게 되므로 물체가 1초 동안 가해진 일은 $\tau/r \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot r \cdot R/60 \text{ N} \cdot \text{m/s} = \tau \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot R/60 \text{ N} \cdot \text{m/s} = \tau \cdot R \cdot 0.1047 \text{ N} \cdot \text{m/s}$ 가 됩니다. 그런데 $1\text{hp} = 745.7\text{W}(\text{N} \cdot \text{m/s})$ 이므로 [수식 1]의 둘째 줄처럼 영국식 마력(hp)은 $\tau(\text{토크}) \cdot R(\text{분당 회전수}) \cdot 0.1047/745.7 = \tau \cdot R/7122$ 이며 프랑스식 마력(ps)으로는 $\tau(\text{토크}) \cdot R(\text{분당 회전수}) \cdot 0.1047/735.5 = \tau \cdot R/7025$ 가 됩니다. 만약 토크가 $\text{kg} \cdot \text{m}$ 으로 표시되어 있다면 $\text{kg} \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m}/g$ ($g = 9.8066$, 중력가속도)이므로 $\text{N} \cdot \text{m}/g$ 의 $1/g$ 를 상쇄하기 위해 $\tau \cdot R/7122$ (영국식)과 $\tau \cdot R/7025$ (프랑스식)의 분모를 9.8066 (중력가속도)으로 나누면 됩니다. 그러면 [수식 1]의 첫째 줄처럼 프랑스식 마력(ps)은 $\tau \cdot R/716$, 영국식 마력(hp)은 $\tau \cdot R/726$ 이 됩니다. 대부분 엔진 출력을 측정하는 경우 각 RPM마다 토크를 측정한다고 들었습니다. 그리고 그렇게 얻어진 RPM-토크 그래프에 위 변환식을 통해 RPM-마력 그래프를 얻게 되는 것으로 알고 있습니다.

토크와 마력의 정의와 서로의 상관관계를 유도하며 대략 둘의 차이를 이해하셨을 것 같습니다. 토크와 마력 모두 RPM 구간마다 다르고 같은 엔진이라도 트랜스미션에 따라서 운전자가 느끼는 힘이 달라지므로 실제로 운전하는 상황에서 어떤 주행특성이 토크 또는 마력에 기인한다고 딱 잘라 말하기는 힘들 것 같습니다. 다만 정성적으로 느낌을 말하자면 낮은 RPM에서 높은 토크가 나오는 엔진이 일상적인 주행에서 비교적 힘이 좋다고 느껴질 것이고, 높은 RPM에서 상대적으로 높은 토크가 나오는 엔진이 후반 가속이 좋다고 느껴질 것입니다. 또한, 토크가 좋은 엔진은 언덕길에서 탄력을 잃지 않을 것이고 토크가 좋지 않은 엔진은 언덕길에서 저단 기어로 빠지며 탄력을 잃는 경우가 많을 것입니다.

하지만 결국 마력도 토크와 회전수에서 나오는 수치이므로 토크와 마력을 딱 구분해서 말하기란 역시 쉽지 않습니다.

이상 토크와 마력에 대해서 정리해보았습니다. 게으른 성격 탓에 항상 일을 뒤로 미루다 스스로 화를 부르는 악순환 속에서도 일단 마감에 늦지 않게 원고를 마친 것에 안도하며 다음 연재도 되도록 다른 소재로 널뛰기하지 않고 일관성을 이어가도록 진지하게 고민하겠습니다. 읽어주셔서 감사합니다. 🍷