

자기 체결 마찰 클러치의 전달 토크에 관한 연구

왕지석* · 김종도† · 윤희중**

(원고접수일 : 2008년 10월 10일, 원고수정일 : 2008년 11월 18일, 심사완료일 : 2008년 11월 19일)

A Study on the Transmitted Torque of Self Clamping Friction Clutch

Jee-Seok Wang* · Jong-Do Kim† · Hee-Jong Yoon**

Abstract : The principle of self clamping friction clutch is presented in this paper and the transmitted torque capacity is also calculated. In order to enlarge the friction force, a part of rotating force of driving side is converted to normal force of friction materials by clamping arm. The increased normal force of friction materials assures the large friction force and the transmitted torque capacity of clutch becomes large.

The self clamping friction clutch is adopted in the tube type air pressure clutch and the condition of stability is investigated. It is proven that the inclined angle of clamping arm and the friction factor of friction materials are the essential elements in stability and torque capacity of self clamping friction clutch.

The transmitted torque capacity of self clamping friction clutch is compared with air pressure clutch. The normal force of friction lining is magnified by $1/(1-k)$ and the transmitted torque capacity is also magnified with same proportion comparing with air pressure clutch. The larger the friction factor of friction lining, the larger the magnification factor. The longer the clamping arm, the smaller the magnification factor.

It must be also noted that the value of $k=\mu Y/X$ is the criterion of stability. If the value of $k=\mu Y/X$ is greater than or equal to 1, the self clamping friction clutch is unstable and it can not be used as clutch.

Key words : Friction clutch(마찰 클러치), Self clamping(자기 체결), Friction pad(마찰 패드), Clamping arm(클램핑 아암), Transmitted torque(전달 토크)

기호설명

P_1 : 공기 튜브의 압축 공기에 의하여 마찰 패드를 누르는 힘(N)

P : 마찰 라이닝의 법선력(N)

μ : 마찰 라이닝과 드럼 사이의 마찰 계수

R_1 : 드럼의 반경(mm)

R_2 : 클러치 중심으로부터 클램핑 아암의 바깥쪽

† 교신저자(한국해양대학교 기관시스템공학부, E-mail: jdkim@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4253)

* 한국해양대학교 기계정보공학부

** 한국해양대학교 대학원

- 핀 중심까지의 거리(mm)
 H : 마찰 라이닝과 드럼의 접촉면으로부터 마찰 패드 핀 중심까지의 거리(mm)
 L : 클램핑 아암의 길이(mm)
 P_C : 클램핑 아암에 걸리는 압축력(N)
 Y : 마찰 패드의 핀에서 작용하는 마찰력의 작용선과 클램핑 아암의 바깥쪽 핀 중심까지의 거리(mm)
 θ : 클램핑 아암의 기울기
 X : 마찰 라이닝에 작용하는 법선력의 작용선과 클램핑 아암의 바깥쪽 핀 중심까지의 거리(mm)
 n : 마찰 패드의 수
 F : 확대계수(magnification factor)
 $k = \mu Y/X$

1. 서 론

마찰 클러치에서 전달 토크는 마찰력에 비례하기 때문에 전달 토크를 키우려면 마찰력을 키워야 하고 이 마찰력을 키우기 위한 두 가지의 방법이 있을 수 있는데, 각각의 방법에 대하여 여러 가지 방안들이 고안되어 있다. 마찰력을 키우는 첫 번째의 방법은 마찰재의 마찰계수를 증가시키는 방법이고 이를 키우기 위한 많은 마찰재가 개발되어 사용되고 있다. 마찰력을 키우는 두 번째의 방법은 마찰재에 작용하는 법선력을 키우는 방법이다. 법선력을 키우기 위하여 마찰 접촉면이 경사지게 하기도 하고 마찰재에 가하는 힘으로 공기 튜브의 공기압을 이용하기도 한다.

마찰 클러치의 성능이라면 외형 크기가 작고 전달 토크가 크고 마찰재의 마멸이 작은 것이 좋은 성능을 가졌다고 할 수 있다. 이 성능을 개선하기 위하여 위의 두 가지 방법 중 마찰재의 마찰계수를 개선하기 위한 연구가 비교적 활발히 이루어져 왔다. 마찰 클러치에서 쓰는 마찰재는 기본적으로 브레이크에서 쓰는 마찰재와 같은 것으로 이 마찰재에 관한 연구들이 다수 있어 왔는데, 환경 문제 때문에 석면계통의 마찰재 사용이 금지되면서 주로 비석면계통의 마찰재 개발에 관한 것들이다^{[5][9][10]}. 복합재료

를 이용하는 마찰재도 개발 되어 좋은 마찰계수를 보이고 있다^{[1][3][8]}. 마찰재의 개발과 아울러 상대 재료의 내구성을 개선하고 발열을 줄이거나 방열을 양호하게 하여 마찰면의 온도상승을 제어 하려는 연구도 다수 있었다^{[2][4][6][7]}.

이에 반하여 마찰재에 작용하는 법선력을 키워서 마찰력을 높이려는 연구는 거의 없다. 이 방법은 근본적으로 마찰 클러치의 구조를 바꾸어야 하는데 그 시도가 어려운 것도 사실이다. 여기서는 공기 튜브에 공급되는 압축공기의 압력을 높이지 않고도 마찰재에 작용하는 법선력을 크게 하여 마찰력을 높이고 따라서 전달 토크를 키워서 클러치의 성능을 개선하려는 시도를 보여준다.

Fig. 1은 현재 많이 쓰이고 있는 튜브식 공기압 클러치 및 브레이크를 나타낸다^{[11][12][13]}. 이 그림은 클러치의 이탈(disengaged)상태를 나타내는데 공기 튜브에 공기압이 걸리지 않아 공기 튜브가 수축하여 마찰 패드(friction pad)가 드럼으로부터 떨어져서 토크 전달이 차단되어 있다. 구동축(driving shaft) 끝에 있는 로타리 밸브를 통하여(이 그림에는 나타나 있지 않음) 압축공기가 공급되면 이 압축공기는 구동축의 중심에 뚫려 있는 구멍과 공기 파이프를 통하여 공기 튜브에 공급된다. 압축공기가 공기 튜브에 도입되면 이 튜브가 팽창하여 마찰 패드를 드럼에 밀착시킨다. 그러면 클러치가 합착(engaged)상태로 되어 마찰 라이닝(friction lining)과 드럼 사이에 마찰력이 생기고 이 마찰력에 의하여 토크가 종동축(driven shaft)에 전달된다. 이 때에 종동축을 고정하면 구동축의 회전을 멈추게 하는 브레이크로 쓰이게 된다.

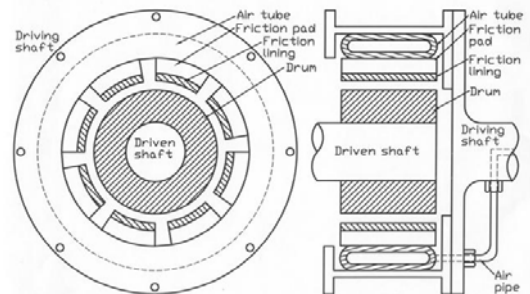


Fig. 1 Air pressure friction clutch and brake

이 클러치에서 전달 토크를 크게 하려면 마찰력을 크게 하여야 하는데 이를 위하여는 공기 튜브의 공기압을 높여서 마찰 라이닝에 작용하는 법선력을 크게 하든가, 마찰 라이닝의 마찰계수를 큰 것으로 써야 한다. 공기압은 여러 가지 기술적인 제약 때문에 8 bar를 초과하기 힘들고 마찰 라이닝의 마찰 계수는 0.55가 최대이다. 따라서 외형의 크기를 키우지 않고 이형식의 마찰 클러치 및 브레이크에서 전달 토크의 크기를 키우는 데는 한계가 있고 이 한계를 넘을 수 있는 고안이 필요하다.

여기서는 클러치의 마찰재에 작용하는 법선력을 키우기 위하여 클러치 구동축의 회전력을 마찰재의 법선력으로 전환시켜주는 메카니즘을 소개하고 이를 채용하고 있는 자기 체결 마찰 클러치의 안정성과 전달 토크를 계산하고자 한다. 그리고 이 클러치에서 구동축의 회전력을 마찰재의 법선력으로 전환시켜 주는 클램핑 아암의 경사도가 어느 한계 이상이면 클러치가 합착(engaged) 상태에서부터 이탈(disengaged) 상태로 전환 될 수 없어 클러치로서의 역할을 더 이상 못 하게 되는데 이의 조건도 분석하여 자기 체결 마찰 클러치의 설계에 응용할 수 있게 하였다.

2. 자기 체결 마찰 클러치

클러치 구동축의 회전력을 마찰재의 법선력으로 변환시켜 줌으로써 법선력을 현저하게 증대시켜 전달 토크를 키울 수 있는 자기 체결 마찰 클러치의 원리는 다음과 같다. Fig. 2는 이 클러치의 이탈

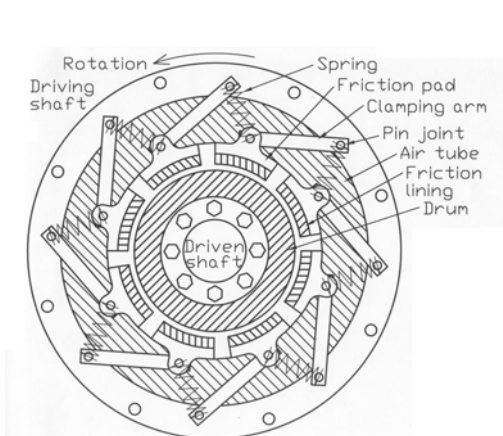


Fig. 2 Self clamping friction clutch (disengaged)

(disengaged) 상태를 나타낸다. 구동축에 연결된 플렌지와 마찰 패드 사이를 클램핑 아암(clamping arm)으로 연결한다. 클램핑 아암의 양끝은 각각 핀 연결(pin joint)로 되어 있어 클램핑 아암의 각 변위가 용이하도록 한다. 공기 튜브에 공기압이 걸리지 않을 때는 마찰 패드가 스프링에 의하여 당겨져서 마찰 라이닝이 드럼에 접촉하지 않고 따라서 구동축이 회전하여도 동력은 전달되지 않는 클러치 이탈(disengaged)상태가 된다.

공기 튜브에 공기압이 걸리면 Fig. 3과 같이 튜브가 팽창하여 마찰 패드의 마찰 라이닝이 드럼에 밀착하게 되고 클러치는 합착(engaged)상태가 된다. 구동축이 그림의 화살표 방향으로 회전하면 그 회전력은 클램핑 아암에 의하여 마찰 라이닝을 드럼에 더욱 세게 밀착시켜 마찰 라이닝의 법선력을 현저하게 증가시킨다. 마찰 라이닝의 법선력이 증가 하므로 마찰력이 커지고 따라서 전달 토크가 커진다.

마찰 라이닝에 작용하는 법선력이 구동축의 회전력에 의하여 현저하게 커지는 원리를 Fig. 4에서 설명하고 있다. 이 그림은 마찰 패드 어느 하나만 그려 놓은 것이다. 구동축이 그림의 화살표 방향과 같이 반시계방향으로 회전한다고 할 때, 압축 공기가 공기 튜브에 도입되면 공기 튜브가 팽창하여 마찰 라이닝이 드럼에 밀착하게 된다. 그러면 마찰 라이닝에 마찰력이 그림의 화살표 방향으로 작용하게 되고 이 마찰력은 클램핑 아암을 반시계방향으로

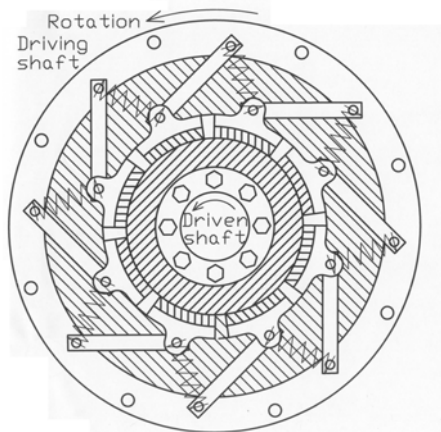


Fig. 3 Self clamping friction clutch (engaged)

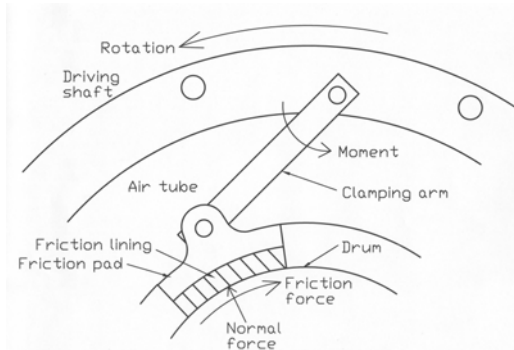


Fig. 4 Converting the rotating force of driving shaft to the normal force of friction liner by clamping arm

로 돌리려는 모멘트를 일으킨다. 이 모멘트는 마찰 라이닝을 드럼에 더욱 세게 밀착 시켜 마찰 라이닝에 작용하는 법선력이 증가한다. 이 법선력이 증가하면 마찰력이 커지고 그러면 클램핑 아암의 반시계방향 모멘트가 더욱 커져서 마찰 라이닝의 법선력은 더욱 증가한다. 클램핑 아암의 경사 각도와 마찰계수에 따라서 이 법선력이 무한히 증가하기도 하고(발산) 어떤 일정한 값에 수렴하기도 하는데 이에 관한 조건은 다음 절에서 논한다.

3. 자기 체결 마찰 클러치의 전달 토크

클러치의 전달 토크는 전달 동력하고 정비례하므로 매우 중요하며 클러치의 성능을 나타내는 중요 인자이다. 마찰 클러치에서 전달 토크는 기본적으로 마찰력과 마찰 반지름과의 곱이다. 또한 마찰력은 마찰재의 마찰계수와 마찰재의 법선력의 곱이다. 기존의 공기압 클러치에서는 이 법선력이 순전히 튜브의 공기압에 의해서만 제공되므로 공기압을 높이기 위하여 튜브를 두껍게 제작하여야 하는데 이 튜브가 수납되는 공간의 한계 때문에 무작정 튼튼하게만 만들 수 없어 튜브의 공기압이 8 bar를 초과하지 못하고 있다. 이에 비하여 자기 체결 마찰 클러치는 구동축의 회전력이 클램핑 아암에 의하여 마찰재의 법선력으로 전환되므로 낮은 공기압에도 큰 법선력을 낼 수 있어 전달 토크를 크게 할 수 있다는 장점이 있고 같은 토크를 전달하는 클러치라면 그 크기를 작게 할 수 있다.

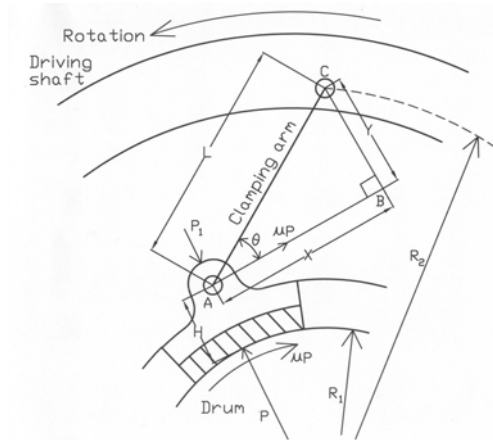


Fig. 5 Calculation of transmitted torque

자기 체결 마찰 클러치의 전달 토크를 계산하기 위하여 Fig. 5를 참조하여 설명하면 다음과 같다. 전절에서 설명하였던 바와 같이 공기 튜브에 압축 공기가 공급되면 공기 튜브가 팽창하여 마찰 패드를 압착하고 따라서 마찰 라이닝이 드럼에 밀착하는 클러치 합착(engaged)상태가 된다. 구동축(driving shaft)이 그림의 화살표 방향으로 회전한다고 하고 이 때 공기 튜브가 마찰 패드를 누르는 힘을 P_1 이라고 하면 이것이 마찰 라이닝과 드럼 사이의 법선력 P 가 되고, 즉 $P=P_1$ 이 되고 따라서 마찰력은 $\mu P=\mu P_1$ 이 되는데 이 힘의 방향은 법선력 P 와 직각방향이 된다. 여기서 μ 는 마찰 라이닝과 드럼 사이의 마찰계수이다. 이 마찰력은 마찰 라이닝과 드럼 사이의 접촉면의 중심점에서 법선력 P 와 수직 방향으로 작용하는데, 클램핑 아암 AC와 마찰 패드가 그림의 A에서 핀 연결 되어 있어 마찰 패드로부터 클램핑 아암으로 모멘트가 전달 될 수 없다는 점을 고려한다면 이 마찰력은 핀 A에서 작용한다고 보고 클램핑 아암의 모멘트를 계산하여야 한다. 이 마찰력 $\mu P=\mu P_1$ 에 의하여 클램핑 아암 AC가 핀 C를 중심으로 반시계방향으로 돌리는 모멘트가 생기는데 이 모멘트 값이 $\mu P Y=\mu P_1 Y$ 가 된다. 여기서 Y 는 마찰력 μP 의 작용선과 핀 C와의 거리 BC이다. 이 모멘트는 마찰 패드를 드럼에 더욱 세게 밀착시켜서 이 모멘트로 인하여 마찰 라이닝과 드럼 사이의 법선력이 증가

하는데 이 증가분은 $\mu P Y/X = \mu P_1 Y/X$ 가 된다. 여기서 X는 그림에서 AB의 거리이다. 따라서 마찰 라이닝과 드럼 사이의 법선력은 공기 튜브로부터 나온 원래의 법선력 P_1 과 이것의 합이 되어 $P = P_1 + \mu P_1 Y/X$ 가 된다.

법선력이 증가하면 당연히 마찰력도 증가 하여 마찰력은 $\mu P = \mu (P_1 + \mu P_1 Y/X) = \mu P_1 (1 + \mu Y/X)$ 가 된다. 이 마찰력에 의한 클램핑 아암의 모멘트는 $\mu PY = \mu P_1 (1 + \mu Y/X) Y$ 가 되고 이 모멘트에 의한 마찰 라이닝의 법선력은 $\mu PY/X = \mu P_1 (1 + \mu Y/X) Y/X$ 가 되므로 결과적으로 마찰 라이닝에 작용하는 법선력 P는 공기압에 의한 원래의 법선력 P_1 과 이것의 합이 된다. 즉, $P = P_1 + \mu P_1 (1 + \mu Y/X) Y/X = P_1 \{1 + \mu Y/X + (\mu Y/X)^2\}$ 마찰 라이닝에 작용하는 법선력 P가 달라졌으므로 마찰 라이닝의 마찰력도 달라지고 클램핑 아암의 모멘트도 또 달라지는 순환이 계속되어 최종적으로 마찰 라이닝에 작용하는 법선력은 다음과 같이 된다.

$$P = P_1 (1 + k + k^2 + k^3 + k^4 + k^5 + \dots) \quad (1)$$

여기서 $k = \mu Y/X$ 이다.

식 (1)에서 보는 바와 같이 마찰 라이닝의 법선력 P는 $k = \mu Y/X$ 의 값에 따라서 무한히 증가하기도 하고(발산) 어떤 일정한 값에 수렴하기도 하는데,

$k = \mu Y/X$ 값이 1 이상이 되면 괄호 안의 값이 무한대가 되어 공기 튜브에 의한 원래의 법선력 P_1 이 영이 되어도 마찰 라이닝의 법선력 P가 영이 되지 않는다. 이런 경우는 클러치를 이탈(disengaged) 상태로 되돌리기 위하여 공기 튜브의 공기압을 제거 하여 P_1 을 영으로 하여도 클러치가 떨어지지 않고 계속 붙어있는 상태가 되므로 클러치로서 사용할 수 없게 된다.

반면에 $k = \mu Y/X$ 값이 1 미만이면 식 (1)의 괄호 안의 값은 어떤 값에 수렴하여 일정한 값을 가지게 되며 마찰 라이닝에 작용하는 법선력 P는 다음과 같이 된다.

$$P = \frac{P_1}{1 - k} \quad (2)$$

이 식에서 보는 바와 같이 공기 튜브에서 공기압을 제거하여 마찰 라이닝의 초기 법선력 P_1 을 영으로 하면 마찰력 P가 영으로 되므로 클러치가 떨어지는 이탈(disengaged)상태로 돌아 갈 수 있다. $k = \mu Y/X$ 값이 1에 가까우면 가까울수록 마찰 라이닝의 법선력이 커지며 따라서 마찰력도 커지고 전달 토크도 커진다. 이 때에는 마찰력이 아닌 클램핑 아암이나 각부의 핀을 비롯한 구조물의 강도가 전달 토크의 크기를 결정하게 된다.

식 (2)를 다른 방법으로 유도해 보자. 마찰 라이닝의 법선력 P에 의한 마찰력은 μP 가 되는데 이 마찰력은 마찰 라이닝과 드럼의 접촉면에서 법선력 P와 수직한 방향으로 작용한다. 그런데 클램핑 아암과 마찰 패드가 핀 A에서 핀 연결 되어 있어 마찰 패드에서 클램핑 아암으로 모멘트 전달이 안 된다는 사실을 염두에 두고서 이 마찰력이 클램핑 아암 AC를 핀 C를 중심으로 반시계방향으로 돌리려는 모멘트를 구하면 μPY 가 된다. 이 모멘트는 마찰 패드를 드럼에 더욱 세게 밀착 시켜서 마찰 라이닝의 법선력을 증가시키는데 그 증가된 법선력은 $\mu PY/X$ 가 된다. 그러므로 원래 공기 튜브의 공기압에 의하여 마찰 패드에 가하여진 힘 P_1 과 이것의 합이 마찰 라이닝의 법선력 P가 되므로 $P_1 + \mu PY/X = P$ 가 성립한다. 이식은 물론 $k = \mu Y/X$ 값이 1 미만이라고 할 때에만 성립한다. 이 식으로부터 식 (2)가 나온다.

마찰 라이닝에 작용하는 법선력 P를 구하였으면 마찰력은 μP 가 되고 따라서 전달 토크 T는 다음 식과 같이 된다.

$$T = \mu P (R_1 + H) n = \frac{\mu P_1 (R_1 + H) n}{1 - k} \quad (3)$$

여기서 R_1 은 드럼의 반경이고 H는 마찰 패드에서 마찰 라이닝과 드럼의 접촉면으로부터 핀 A의 중심까지 높이이다. 또한 n는 마찰 패드의 숫자이다. 실제의 클러치에서 Fig. 5와 같이 드럼 반경 R_1 , 클램핑 아암의 길이 L, 마찰 패드 높이 H, 클러치 중심으로부터 클램핑 아암의 바깥쪽 핀까지의 거리 R_2 가 주어지면 간단한 기하적인 계산으로부터 X와 Y를 구할 수 있다.

$$Y = \frac{R_2^2 - L^2 - (R_1 + H)^2}{2(R_1 + H)}, \quad (4)$$

$$X = \sqrt{L^2 - Y^2}$$

또한 클램핑 아암의 길이 L은 다음 범위 안에 들어야 한다는 것도 알 수 있다.

$$R_2 - R_1 - H < L < \sqrt{R_2^2 - (R_1 + H)^2} \quad (5)$$

한편 클램핑 아암이 받는 압축력 P_C 는 다음과 같이 된다는 것도 쉽게 알 수가 있고 클램핑 아암과 핀을 설계하는데 강도 계산 할 때에 이 힘을 설계기준으로 하여야 한다.

$$P_C = \frac{\mu PL}{X} = \frac{\mu P_1 L}{(1-k)X} \quad (6)$$

4. 기존의 공기압 클러치와의 비교

기존의 공기압 클러치는 공기 튜브의 공기압만으로 마찰 패드를 눌러서 마찰 라이닝의 법선력과 마찰력을 야기한다. 즉, 전절에서 P_1 만이 법선력이 되고 이 법선력에 의한 마찰력 μP_1 에 의한 전달 토크만이 있을 뿐이다. 이에 비하여 자기 체결 마찰 클러치는 식 (2)에서 보는 바와 같이 마찰 라이닝의 법선력 P가 공기 튜브의 공기압에 의한 법선력 P_1 보다 $1/(1-k)$ 배가 증폭되므로 월등히 큰 토크를 전달 할 수 있다. 구체적으로 어느 정도 더 큰 토크를 전달 할 수 있는지 보기 위하여 현재 많이 쓰이고 있는 S사 제품의 어느 한 형식을 예로 들어 이 형식의 제품을 자기 체결 마찰 클러치로 바꿀 경우 어느 정도 더 큰 토크를 전달 할 수 있는지 검토하여 제시하고자 한다.

식 (2)에서와 같이 마찰 라이닝의 법선력이 증폭되는 것은 구동축의 회전력이 이 법선력으로 전환되기 때문인데 이 증폭되는 비율을 확대계수 (magnification factor)라 하고 이 값을 F라 하면 이 되는데 이 값이 1보다 얼마나 더 큰가를 보면 자기 체결 마찰 클러치의 전달 토크가 얼마나 더 클 것이라는 것을 짐작 할 수가 있다. 예로 든 S사

$$F = \frac{1}{1-k} \quad (7)$$

제품은 외경이 980mm로 튜브의 공기압이 최고치인 8bar 일 때에 32kNm의 토크를 전달한다. 이의 외경에 맞추어 드럼 반경과 마찰 패드의 높이 등을 다음과 같이 결정하면 $R_1=300\text{mm}$, $H=28\text{mm}$, $R_2=400\text{mm}$, 식 (5)에 의하여 클램핑 아암의 길이 L은 $72 < L < 228.9$ 의 범위 내에 있어야 한다. 클램핑 아암의 길이 L을 얼마로 할 것이냐에 따라서 확대계수 F가 달라지는데 Fig. 6은 이것을 보여 준다. 이 그림은 마찰 라이닝과 드럼 사이의 마찰계수 μ 가 각각 0.35, 0.40, 0.45 일 때 확대계수 F가 클램핑 아암의 길이 L의 어떤 함수로 변하는지를 보여 준다. 일반적으로 클램핑 아암의 길이가 길수록 확대계수 F는 작아지고 마찰계수가 작을수록 F가 작아진다. 확대계수 F는 곧바로 자기 체결 마찰 클러치가 기존의 공기압 클러치보다 몇 배 더 큰 토크를 전달하는가를 나타낸다. 예를 들면 마찰 라이닝과 드럼 사이의 마찰계수가 0.45이고 클램핑 아암의 길이 L이 80mm이라면 Fig. 6에서 보는 바와 같이 확대계수 F는 5.6이다. 즉, 예로 든 S사의 이 제품을 자기 체결 마찰 클러치로 바꾸면 5.6배의 토크를 전달 할 수 있게 된다. 이는 같은 크기의 전달 토크를 내는 클러치를 절반 이하의 외형 크기로 만들 수 있다는 것을 의미하기도 한다. 물론 이 때에는 클램핑 아암과 핀의 강도가 충분한지를 검토하여야 하고 마찰력이 전달 토크를 결정하는 주요 인자가

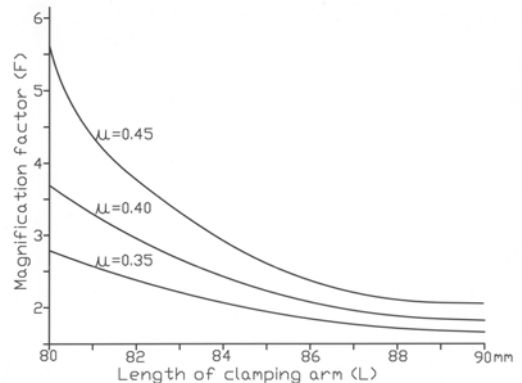


Fig. 6 Magnification factor

되는 것이 아니라 이들의 강도가 전달 토크를 결정하는 인자가 될 수도 있다. 그런데 일반적으로 구조용 강을 클램핑 아암으로 쓰고 고장력강을 핀으로 쓰면 이들의 강도는 마찰 라이닝의 마찰력에 비하여 월등히 크므로 문제 될 것이 없다는 것이 검토 결과 확인되었다.

5. 결 론

자기 체결 마찰 클러치에서 클러치 구동축의 회전력이 마찰 라이닝에 작용하는 법선력으로 전환되는 메카니즘을 규명하고 그 법선력으로 인한 마찰력 및 전달 토크를 계산하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 자기 체결 마찰 클러치는 구동축의 회전력이 마찰 라이닝에 작용하는 법선력으로 전환되어 기존의 공기압 클러치에 비하여 큰 마찰력을 낼 수가 있고 따라서 전달 토크가 커지며 같은 전달 토크를 내는 클러치라면 외형 크기를 더 작게 하여 만들 수 있다.

(2) 자기 체결 마찰 클러치의 마찰 라이닝에 작용하는 법선력은 기존의 공기압 클러치에 비하여 1/(1-k)배 확대되고 따라서 마찰력 및 전달 토크도 같은 비율로 확대된다.

(3) 자기 체결 클러치에서 $k = \mu Y/X$ 값이 1보다 크면 클러치가 합착(engaged)상태가 되고 나서 이탈(disengaged)상태로 전환될 수가 없고 따라서 클러치로써 사용할 수 없게 된다.

(4) 마찰 계수가 크면 확대계수도 커지고 클램핑 아암의 길이가 길어지면 확대계수가 작아진다.

참고문헌

[1] 이정주, 김윤해, "다구치 방법을 이용한 복합재료 자동차용 마찰재의 마찰 특성에 관한 연구", 대한기계학회논문집 A, 제26권, 제4호, 2002
 [2] 전중현, 김대은, "탄소강의 가공조건과 마찰, 마멸의 관계", 대한기계학회논문집 A, 제20권, 제5호, 1996
 [3] 김현수, 조치룡, 김광수, "KTX-1 복합재 브레이크

페달 개발 및 구조 인증시험", 대한기계학회논문집 A, 제23권, 제7호, 1999

[4] 김창균, 이일권, "디스크 브레이크의 마찰열 접촉거동에 관한 트라이볼로지적 연구", 대한기계학회논문집 A, 제23권, 제10호, 1999
 [5] Anderson A. E. "Friction Materials Performance Issues", Proceedings of Fibers in Friction Materials Symposium, Friction Materials Standard Institute, 1987
 [6] 장경수, 강부병, 백남욱, "고속전철용 세라믹 코팅 제동디스크의 마찰특성연구", 대한기계학회논문집 A, 제22권, 제5호, 1998
 [7] 김청균, 성부용, "급제동시 디스크 브레이크 시스템의 열적 거동 해석", 대한기계학회논문집 A, 제22권, 제6호, 1998
 [8] Katushiro Shibata, Akira Gato, Satoshi Yoshida, Yuichi Azuma, Koji Nakamura, "Development of Brake Friction Materials", SAE Tech. Series, 1993
 [9] 상신브레이크 기술연구소, "마찰재 아라미드 섬유 대체기술개발", 1995
 [10] 상신브레이크 기술연구소, "Development of Ceramic Friction Materials with Non-fibers", 1999
 [11] 정재천, 최상훈, 이용복, 장희석, "종합기계설계", 청문각, 2004
 [12] 박재춘, 정재천, 송지복, 남궁재관, "수정판 신기계설계학", 1997
 [13] 전효중. "선박동력전달장치", 태화출판사, 1986

저 자 소 개



왕지석(王之錫)

1946년 11월27일생, 1971년 한국해양대학교 기관학과 졸업, 1975년 동 대학원 석사과정 졸업(공학석사), 1979년 프랑스 낭뜨대학교 박사과정 졸업(공학박사) 1973~현재 한국해양대학교 기계정보공학부 교수



김종도(金鍾道)

1963년 1월생, 1985년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1993~1997년 일본오사카대학 생산가공공학과 응용고온공학코스(공학석사 및 공학박사), 2003년 1월~현재, 대한응집학회 편집위원겸 고에너지연구위원회 위원장, 2004년 1월~한국레이저가공학회 운영이사, 2008년 10월~대한기계학회 학술이사, 1998년 3월~현재, 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수, 당학회 편집이사, 관심분야 : 레이저응집, 가공현상의 고분해능 계측과 실시간 해석



윤희중(尹熙鍾)

1961년 5월20일생, 1985년 한국해양대학교 항해학과 졸업, 2004년 동 대학원 석사과정 졸업(공학석사), 2006년 동 대학원 박사과정 입학, 1997~현재 동도 BASALT산업(주) 전무이사