

자기강화 원리를 이용한 에어컨 클러치의 설계

김수영¹⁾ · 최세범^{*2)} · 김새봄³⁾

한국과학기술원 기계공학과¹⁾²⁾ · 한라비스테온공조³⁾

Design of an Air Conditioner Clutch Using Self-energized Effect

Sooyoung Kim¹⁾ · Seibum Choi^{*2)} · Saebom Kim³⁾

¹⁾²⁾ Department of Mechanical Engineering, KAIST, 291 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea

³⁾ Halla Visteon Climate Control Corporation, 1689-1, Sinil-dong, Daedeok-gu, Daejeon, Korea

Abstract : 전 세계적으로 자동차의 연비 향상에 대한 소비자들의 요구가 계속 되고 있는 상황에서 차량 공조 시스템의 효율 향상에 대한 연구가 필요한 실정이다. 에어컨을 켜고 주행하는 경우에 차량의 연비는 최대 20%까지 증가할 수 있으므로 차량 공조 시스템은 차량 연비에 큰 영향을 미친다. 본 논문은 wedge 형상의 기구를 클러치 설계에 적용하여 기존의 차량 에어컨 시스템의 소비 전력을 감소시키는 연구에 대해 다루었다. wedge의 구조를 적절히 이용하면 자기강화 원리 (self-energized effect)가 발생하여 적은 에너지를 가지고도 더 효율적으로 클러치를 actuation 시키는 것이 가능하게 된다. 본문에서는 에어컨 클러치 시스템에 대한 static 상황에서의 힘 분석을 통해서 자기강화 효과에 따른 클러치 체결력 증폭비를 수학적으로 유도하고, 마찰계수와 여러 가지 파라미터 변화에 따른 수직력 증폭비의 변화를 분석하여 wedge의 각도를 설계하였다.

Key words : Air conditioner clutch(에어컨 클러치), Self-energized effect(자기강화 효과), Electromagnetic clutch(전자기 클러치)

Nomenclature

F: force, N

α : slope angle of wedge, deg

Υ : amplification ratio, -

μ : friction coefficient, -

Subscripts

B: braking (force)

M: magnetic (force)

leaf : leaf spring

tor: torsion spring

1. 서론

고유가 시대가 지속됨에 따라 전 세계적으로 자동차의 연비 향상에 대한 요구가 계속 되고 있다. 자동차의 연비에는 엔진 자체의 성능과 차 중량 등 여러 가지 요인이 영향을 미치지만, 차량 공조 시스템도 많은 영향을 끼친다고 알려져 있다. 특히, 고온 다습한 우리나라의 여름에는 에어컨을 켜고 주행할 경우, 연료 소비율이 최대 20%까지 증가한다고 알려져 있다. 차량 이용자들의 편안한 주행을 위해 차량의 종류를 불문하고 에어컨 시스템의 작

*김수영, E-mail: westkllr@kaist.ac.kr

동은 필수적이지만, 연료를 상당히 많이 소비하기 때문에 마음 놓고 에어컨을 사용하는 것은 꺼려지는 실정이다. 따라서 본 보고서는 이러한 소비자들의 요구에 맞춰 차량 에어컨 시스템의 에너지 소비율을 줄이기 위한 클러치 시스템의 개발에 관한 연구를 다루었다.

에어컨에서 compressor는 냉각제를 고온, 고압 상태로 만들어 응축기로 보내주는 중요한 역할을 한다. 여기서 클러치는 compressor를 actuation시키기 위해 동력을 전달하거나 끊는 역할을 하는데, 현재 에어컨 시스템들에는 전류와 자기력에 의해 actuation되는 electromagnetic 클러치가 많이 사용되고 있다. 그런데 최근 차량 에어컨 사용 고객의 연비 향상 방안에 대한 요구가 갈수록 커져 가고 있는 상황에서 이 에어컨 클러치에 소비되는 전력을 감소시킬 수 있는 연구의 필요성이 높아지고 있는 것이다. 현재는 coil의 저항 값을 키우고 magnetic flux를 최적화 하여 소비전력을 감소시키는 방향으로 대응해 왔으나 조금 더 진보된 기술의 적용을 통해 근본적인 소비전력 감축 방안이 필요한 실정이다. 본 연구는 기존의 클러치 시스템의 소비 전력을 감소시키기 위해 wedge 기구를 이용한 자기강화 원리 (self-energized effect)의 적용을 고려하였다. wedge의 구조를 적절히 이용하면 적은 에너지를 가지고도 기존 클러치 시스템보다 더 효율적으로 actuation을 시키는 것이 가능한데, 이러한 wedge의 자기강화 원리는 클러치를 이용하는 변속기 시스템이나, 웨지브레이크 (electronic wedge brake) 등 다른 기계적 시스템에서 이미 많이 활용되고 있다. Wedge 적용은, 현재 에어컨 클러치의 기본적인 구성은 유지하고 pulley의 설계 변경은 없이 디스크에 wedge만 추가할 예정이다. 본 논문에서는 에어컨 클러치 시스템에 대한 static 상황에서의 힘 분석을 통해서 자기강화 효과에 따른 클러치 체결력 증폭비를 수학적으로 유도하고, 클러치 마찰계수와 wedge 각도를 포함해 총 4개의 파라미터의 변화에 따른 영향에 대한 분석을 다루었다. 최종적으로는 자기강화 자기강화 원리를 극대화 하고 동시에 안정적인 작동이 가능한 wedge의 각도를 수학적인 분석을 통해 구하였다.

2. 자기강화 원리와 에어컨 클러치 시스템

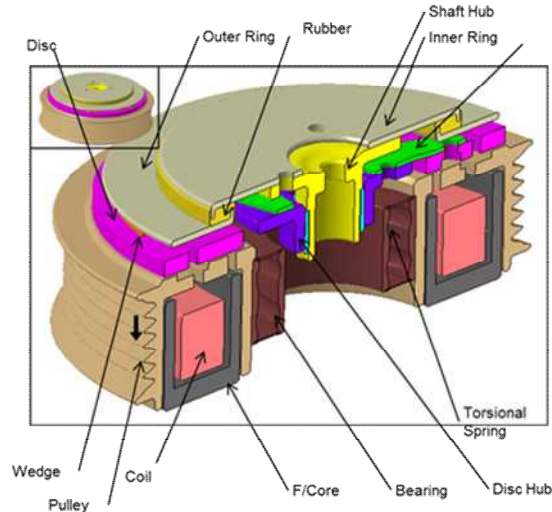


Fig. 1 에어컨 클러치 시스템 구조

2.1 자기강화 원리의 적용

그림 1은 에어컨 클러치 시스템의 구조를 나타낸 것이다. 클러치 체결 여부에 상관없이, 하단에 위치한 pulley는 엔진에 벨트로 연결되어 계속 회전하고 있는 상태이다. 클러치가 체결되어 있지 않을 때에는, pulley는 계속 회전하지만 disc와 hub들은 회전하지 않기 때문에 compressor는 작동되지 않는다. 클러치 체결 시에는 코일에 전류를 흘려 자기력을 발생시키면 steel 재질인 disc가 자기력에 의해 pulley에 체결이 되고 compressor가 작동되는 원리이다. 이때 disc에 wedge를 추가해서 자기강화 효과를 얻을 수가 있다.

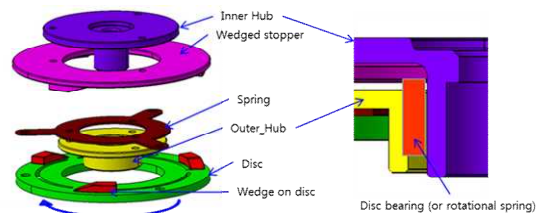


Fig. 2 Wedge가 적용된 클러치 시스템

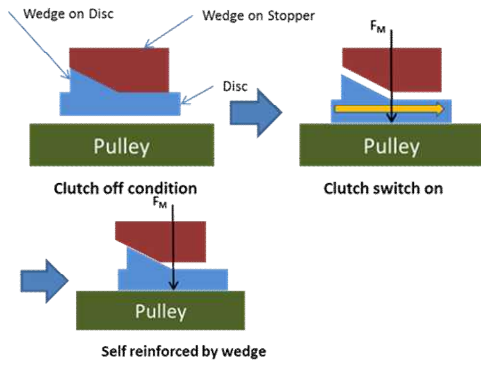


Fig. 3 Wedged 클러치의 자기강화 효과

그림 2과 같이 stopper와 disc에 wedge를 추가를 해서 클러치를 체결시키게 되면 그림 3에서 설명하는 바와 같이 자기강화 효과가 나타난다. 전류가 흘러 disc가 pulley에 붙어서 돌게 되면 disc의 wedge과 stopper의 wedge가 접촉하게 되며 다 같이 회전하게 되는데, 이 때 disc는 자기력에 의해 얻는 수직 방향 힘이 wedge 구조에 의해 증폭되는 효과를 얻게 된다. Stopper와 pulley는 축방향으로 고정되어 있다고 가정하면 disc가 pulley에 체결되어 회전하려고 할 때 stopper와 wedge면에서 접촉하게 된다. 이 때 disc의 wedge면에 작용하는 수직항력이 disc를 pulley로 더 밀착하게 되는 효과를 내게 되고 그러면 disc가 더 깊게 체결되어 또 다시 wedge면으로도 더 밀착하게 된다. 이와 같은 효과가 반복되어 결과적으로는 수직 방향으로 작용하는 자기력보다 실제 disc에 작용하는 수직력이 더 크게 나타나는 효과가 유도 되는데 이게 바로 자기강화 효과이다. 클러치 disc에 free body diagram을 그리면 x방향, y방향 힘 균형식을 다음과 같이 쉽게 유도할 수 있다.

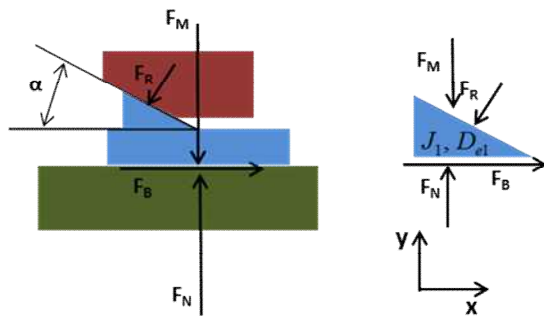


Fig. 4 자기강화 효과 수식 유도

그림 4를 바탕으로 x방향, y방향 힘 균형식은 (1), (2)와 같이 유도할 수 있다.

$$\sum F_x = -F_R \sin \alpha + F_B = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = F_N - F_R \cos \alpha - F_M = 0 \quad (2)$$

$\alpha, F_B, F_M, F_N, F_R$ 은 각각 wedge의 각도, compressor 구동력, pulley면에 작용하는 수직력, wedge면에 작용하는 수직력이다. Compressor 구동력은 클러치 마찰력에 의해 발생하는 것이므로, coulomb 마찰력 식에 의해 다음과 같이 모델링할 수 있다.

$$F_B = \mu_1 F_N \quad (3)$$

μ_1 은 pulley면의 마찰계수이다. 식 (1)-(3)으로부터 자기강화 효과에 의한 클러치 체결력의 증폭비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Upsilon = \frac{F_N}{F_M} = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha - \mu_1} \quad (4)$$

식 (4)는 클러치를 체결하기 위한 자기력의 증폭비를 F_N / F_M 로 계산해서, pulley면 마찰계수 μ_1 와 wedge slope 각도로 나타낸 것이다. 간단한 분석을 위해 pulley 면에 작용하는 마찰력 이외에 다른 저항력이나 마찰력은 없다고 가정하였으며, 모든 부품들이 강체라고 가정을 하였다. 물론, 증폭비에 영향을 미치는 다른 요인들은 많이 있지만 일단 여기서는 μ_1, α 에만 영향을 받는다고 가정하였다. 다른 요인들까지 고려한 증폭비 식 유도에 관해서는 3장에서 자세히 다룰 것이다. 증폭비에 대한 μ_1, α 의 영향을 알아보기 위해 식 (4)을 그림 5와 같이 그래프로 나타내었다.

한 내용을 자세히 다룰 것이다.

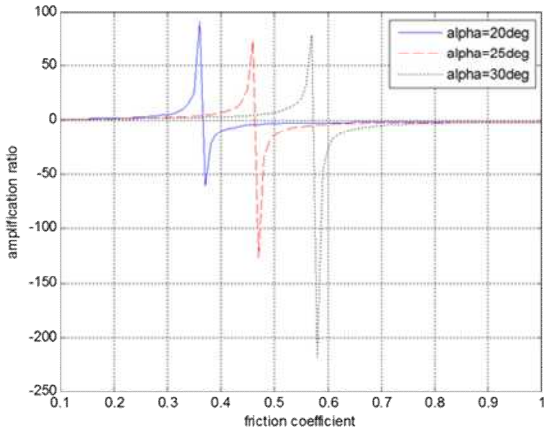


Fig. 5 μ_1 , α 에 따른 증폭비의 변화

wedge의 slope 각도에 따라 그래프들의 위치가 다르기는 하지만 모두 비슷한 모양을 하고 있다. 증폭비가 모두 어느 특정 값까지는 증가하다가 매우 큰 peak 값에 도달한 후 음의 값으로 바뀌는 형태를 띠고 있다. 이러한 특성은 식 (4)을 살펴보면 확인할 수 있는데, 분모가 0이 되는 조건 ($\tan \alpha = \mu_1$)이 되는 조건에서는 증폭비가 무한대로 증가했다가 μ_1 값이 더 증가함에 따라 값이 음의 값을 가지는 것을 알 수 있다. 증폭비가 무한대에 가까워지면 μ_1 값이 조금만 바뀌어도 증폭비가 매우 크게 바뀌는 불안정한 상태로 되며, 클러치 체결을 해제하기 위해 전류를 끊어도 클러치가 빠지지 않는 locking 현상이 발생하게 된다. 따라서, wedge의 slope 각도를 설계 할 때는 μ_1 값을 고려해서 locking이 발생하지 않고 동시에 적당히 큰 증폭비를 얻을 수 있도록 설계를 해야 한다. 식 (4)로부터 wedge 구조를 클러치 시스템에 적용했을 때, 자기강화 효과가 발생하여 수직력에 대한 증폭이 발생할 수 있음을 수학적으로 확인하였다. 하지만 식 (4)은 pulley 면의 마찰계수 μ_1 과 slope 각도만을 고려한 아주 이상적인 상황에서 증폭비를 구하였기 때문에 바로 설계에 적용할 수 없고, 실제 시스템 작동에 영향을 미치는 다른 요인들을 자세히 분석해서 wedge 설계를 수행해야 한다. 3절에서 wedge의 형상 및 slope 각도 설계에 관

3. Wedge의 설계 및 분석

3.1 Wedge의 slope 각도 설계

3.1.1 증폭비에 영향을 주는 인자 분석

2장에서 다뤘듯이, wedge의 slope 각도 α 는 자기강화 효과에 의한 수직력 증폭비를 고려해서 설계가 되어야 한다. 클러치가 작동되는 모든 상황에서 수직력 증폭이 효과적이고 안정적으로 나타날 수 있도록 설계를 해야 한다. 간단히 말해서 α 를 너무 크게 설계하면 증폭비가 너무 작아져서 효과적인 작동이 불가능해지고 가 너무 작으면 경우에 따라 클러치 locking 현상이 일어날 수도 있고 증폭비가 쉽게 변하는 영역에서 시스템이 작동해 불안정해질 것이다. 2장에서는 자기강화 효과를 간단히 알아보기 위해 pulley 면 마찰계수 과 slope 각도 α 에 의해서만 증폭비가 영향을 받는다고 가정을 했었다. 하지만 실제 증폭비는 다른 많은 인자들에 의해 바뀔 수 있다. 본격적인 wedge의 slope 각도 결정에 앞서 증폭비에 영향을 미치는 주요 인자들에 대해 분석을 하고 증폭비와 다른 인자들 간의 관계를 새롭게 수학적으로 규명할 필요가 있다.

(1) **Wedge면 마찰계수 μ_2** : 먼저 wedge면 사이의 마찰계수를 고려해야 한다. 일반적으로 friction lining이 있는 pulley 면의 마찰계수보다는 그 값이 작겠지만, wedge 면 사이에 수직항력이 작용하고 분명히 wedge 면에 평행한 방향으로 마찰력이 작용하게 된다. Wedge 면의 마찰계수에 의해 마찰력이 항상 작용한다고 가정하고 클러치 수직력의 증폭비에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다.

(2) **Spring forces F_{leaf} , F_{tor}** : 클러치 체결을 해제 해야 될 상황이 되면 코일에 흐르던 전류를 끊어 disc에 인가 되던 자기력을 소멸시킨다. 이 경우에 disc는 체결되기 전의 초기 위치로 움직여야 하므로 기존의 클러치 시스템에도 leaf 스프링이 사용되고 있다. Leaf 스프링은 클러치의 축방향으로 변위가 있을 때 변위 반대 방향으로 탄성력을 작용시켜 disc를 원위치로 오도록 하는 역할을 한다. 경우에 따라서는 회전 변위에 의해 탄성력이 작용하는 torsion 스프링이 설치될 수도 있다. Torsion 스프링이 있으면 leaf 스프링만 있을 때보다 쉽게 클러치 해제를 할 수 있으

며 inner hub와 outer hub의 상대적인 회전 변위를 조정시킬 수 있다. 이러한 스프링 힘들은 클러치 체결 시에 시스템에 항상 작용하게 되므로 자기강화 효과에 영향을 끼친다는 것을 예상할 수 있다.

3.1.2 클러치 체결 시 증폭비 계산식 유도

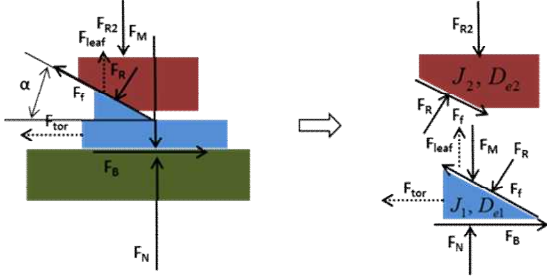


Fig. 6 증폭비 계산을 위한 free body diagram (FBD)

그림 6은 torsion 스프링 힘, leaf 스프링 힘, wedge 면의 마찰력 등의 추가 인자를 고려해 클러치 시스템의 새로운 FBD를 나타낸 것이다. 그림 4와 원리는 같지만 더 많은 인자를 추가해 훨씬 더 실제적인 증폭비를 구할 수 있게 하였다.

그림 6의 FBD를 바탕으로, 수직력의 증폭비를 다시 계산하기 위해 disc가 받는 x방향, y방향 힘 균형식(steady 상황)을 차례로 나타내면 다음과 같다.

$$F_B - F_R \sin \alpha - F_f \cos \alpha - F_{tor} = 0 \quad (5)$$

$$F_N - F_R \cos \alpha - F_M + F_f \sin \alpha + F_{leaf} = 0 \quad (6)$$

pulley면의 마찰계수를 μ_1 , Wedge 면의 마찰계수를 μ_2 라고 할 때 마찰력과 수직항력의 관계에 의해 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$F_B = \mu_1 F_N \quad (7)$$

$$F_f = \mu_2 F_R \quad (8)$$

식 (7)와 (8)를 식 (5)에 대입해서 wedge 면의 수직항력 F_R 로 정리하면 다음과 같다.

$$F_R = \frac{\mu_1 F_N - F_{tor}}{\sin \alpha + \mu_2 \cos \alpha} \quad (9)$$

마찬가지로, 식 (8)를 식 (6)에 대입해서 pulley 면에 작용하는 수직항력 F_N 으로 정리하면 식 (10)이 유도 된다.

$$F_N = F_M - F_{leaf} + F_R (\cos \alpha - \mu_2 \sin \alpha) \quad (10)$$

식 (9)과 (10)을 연립해서 자기강화 효과에 의한 증폭비를 계산하면 다음과 같다.

$$Y = \frac{F_N}{F_M} = g \left(1 - \frac{F_{tor}(1 - \mu_2 \tan \alpha)}{F_M (\tan \alpha + \mu_2)} - \frac{F_{leaf}}{F_M} \right) \quad (11)$$

$$\text{where } g = \frac{\tan \alpha + \mu_2}{\tan \alpha + \mu_2 - \mu_1 + \mu_1 \mu_2 \tan \alpha}$$

식 (11)은 두 개의 항으로 이루어져 있는데 첫 번째 항은 wedged disc 특성 자체 μ_1, μ_2, α 에 결정되는 original 증폭비를 나타내고 두 번째 항은 leaf 스프링과 torsion 스프링에 의해 감소되는 증폭비 값을 나타낸다.

3.1.3 wedge slope 각도 결정

실제 에어컨 클러치 시스템 사용에 있어서, wedge의 slope 각도 α 를 결정하기 위해 고려해야 하는 부분은 크게 두 가지가 있다. 첫 번째는 클러치 locking 상황이 발생하지 않도록 wedge 각도가 어느 값 이상을 가지도록 설계하는 것이고 두 번째는 실제 application에서 항상 적절한 자기강화 효과를 낼 수 있도록 증폭비를 고려해 설계하는 것이다. α 값은 시스템의 설계 파라미터로서 한 번 설계되면 절대 바꿀 수 없는 부분이기 때문에 많은 분석을 통해서 신중하게 결정을 해야 한다.

(1) α 결정을 위한 클러치 locking 조건 분석

수학적으로 클러치 locking 되는 상황은 자기강화 효과에 의한 증폭비가 무한대가 되거나 음수가 나오는 상황으로 표현이 될 수 있다. 따라서 식 (8)로부터 locking 상황을 피할 수 있는 slope 각도 α 의 조건은 다음과 같이 도출된다.

$$\tan \alpha > \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 \mu_2 + 1} \iff \alpha > \arctan \left(\frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 \mu_2 + 1} \right) \quad (12)$$

실제로 α 가 어느 정도의 값을 가져야 locking을 피할 수 있는지 알아보기 위해 μ_1, μ_2 의 범위를 nominal 값으로 제한해서 계산을 해보았다. Pulley의 마찰면의 마찰계수 μ_1 을 lining 재질을 고려하여 0.4~0.6의 범위로 제한하였고, wedge면의 마찰계수는 μ_2 는 일반적으로 μ_1 값보다는 작지만 slip 정도에 따라 variation이 커질

수 있다는 점을 고려해서 0~0.5의 넓은 범위로 설정하였을 때, locking이 일어나기 시작하는 각도를 그래프로 나타내면 다음과 같다.

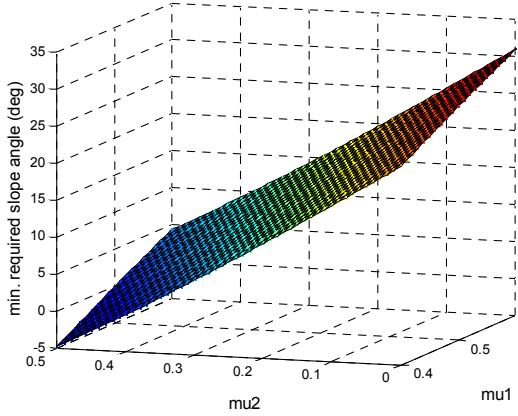


Fig. 7 locking을 피하기 위한 최소 slope 각도
그림 7은 μ_1 과 μ_2 가 위와 같이 변할 때, locking이 일어나지 않기 위한 이론적인 최소 각도를 계산해서 나타내고 있다. 그래프로부터 wedge면 마찰계수 μ_2 값이 작을수록, pulley면 마찰계수 μ_1 값이 클수록 locking이 시작되는 slope 각도가 커지는 것을 알 수 있다. 그래프에서 각도의 최대값이 계산되는 부분은 $\mu_1 = 0.6$, $\mu_2 = 0$ 인 극단적인 상황으로서 30.96도라는 α 값이 계산 된다. 이 상황은 실제로는 거의 발생하지 않는 극단적인 상황이지만 클러치 시스템 작동 시 혹시 모를 disturbances 등을 고려했을 때 α 값이 최소 30.96보다는 커야 한다고 판단할 수 있다.

(2) α 결정을 위한 증폭비 조건 분석

자기강화 효과 증폭비는 α 결정의 위해 가장 중요하게 고려해야 하는 부분이라고 할 수 있다. 클러치에 wedge 구조를 적용하는 근본적인 목적이 바로 자기강화 효과를 발생시키기 위함이며 α 값은 적절한 증폭비를 낼 수 있도록 설계되어야 하기 때문이다. 식 (9)에서 확인할 수 있듯이, 증폭비는 α , μ_1 , μ_2 , F_{leaf} , F_{tor} 등 총 5개나 되는 변수들에 의해 영향을 받는다. 변수가 너무 많아서 분석이 어렵게 때문에 실제 클러치 시스템 작동 상황 시 우리가 경험적으로 알 수 있는 물리량들은 nominal 값으로 범위를 제한해서 분석을 할 것이다. 먼저, 선택적으로 시스템

에 추가되지 않을 수도 있는 torsion 스프링은 없는 상황으로 가정해서 F_{tor} 은 존재하지 않는다고 설정하였다. Torsion 스프링이 없는 상황에서 자기강화 효과 증폭비 식을 다시 구하면 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{F_N}{F_M} = g \left(1 - \frac{F_{leaf}}{F_M} \right) \tag{13}$$

$$\text{where } g = \frac{\tan \alpha + \mu_2}{\tan \alpha + \mu_2 - \mu_1 + \mu_1 \mu_2 \tan \alpha}$$

전 절에서와 마찬가지로 μ_1 은 0.4~0.6, μ_2 은 0~0.5의 범위로 제한하고 F_{leaf} 는 약 150N, F_M 은 약 1000N이라고 가정하였다. 한 번 클러치가 작동하면 잘 바뀌지 않는 정지마찰계수인 μ_1 은 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6 값으로 차례대로 고정하고 slip률에 의해 값이 많이 바뀔 수 있는 μ_2 과, α 에 따른 증폭비의 변화를 다음과 같이 그래프로 나타내었다.

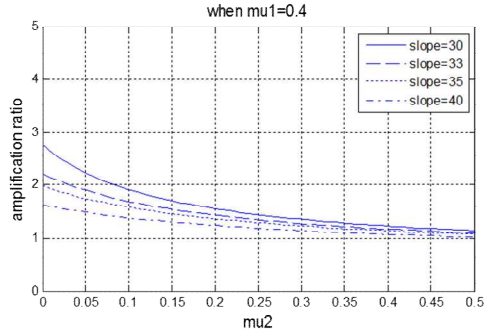


Fig. 8 ($\mu_1 = 0.4$) μ_2 와 α 값에 따른 증폭비의 변화

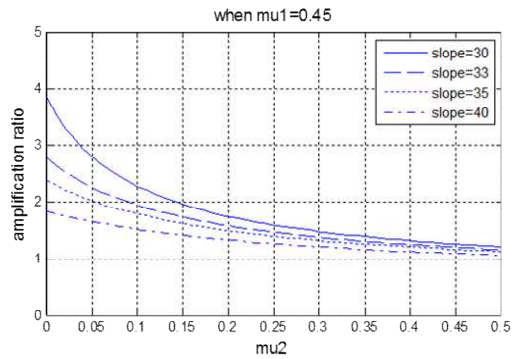


Fig. 9 ($\mu_1 = 0.45$) μ_2 와 α 값에 따른 증폭비의 변화

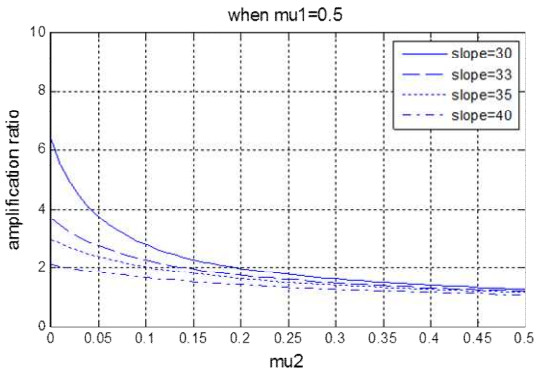


Fig. 10 ($\mu_1 = 0.5$) μ_2 와 α 값에 따른 증폭비의 변화

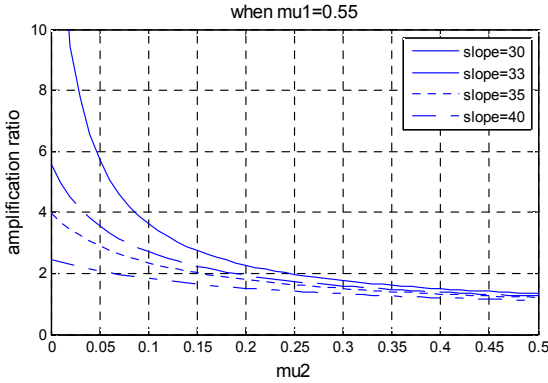


Fig. 11 ($\mu_1 = 0.55$) μ_2 와 α 값에 따른 증폭비의 변화

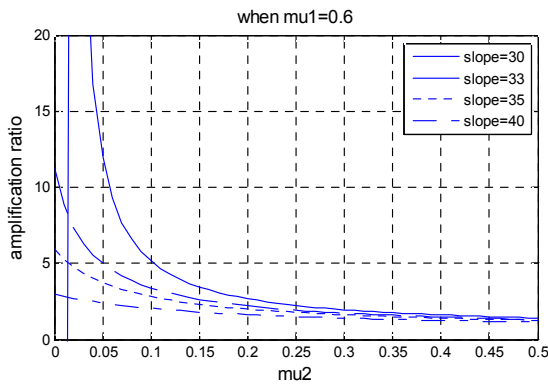


Fig. 12 ($\mu_1 = 0.6$) μ_2 와 α 값에 따른 증폭비의 변화

그림 9에서 12까지 차례대로 살펴보면, 앞서 관찰한 바와 같이 μ_1 이 증가함에 따라 증폭비는 증가하고, μ_2 가 증가함에 따라 증폭비는 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 α 가 작을수록 증폭비가 커지기는 하지만 μ_2 의 variation에 굉장히 민감해지는 것을 알 수 있다. Locking 조

건을 피할 수 있는 최소각인 30.96도보다 크며, 전체 operation 범위에서 안정적인 2~3 내외의 값인 증폭비가 나타나도록 α 값을 결정해야 한다. α 를 33도 근처로 설계를 하게 되면, locking 조건을 여유 있게 피하면서 $\mu_1 = 0.6$ 이고 $\mu_2 = 0$ 인 극단적인 상황에서도 증폭비가 최대 10정도만 까지 커질 수 있으며, 반대의 상황 $\mu_1 = 0.4$ 이고 $\mu_2 = 0.5$ 인 상황에는 증폭비가 1.35로 안정적인 값을 가진다. 만약 wedge의 재질을 μ_2 가 0.1~0.15의 값을 가지도록 설계를 한다면 μ_1 값에 따라 1.6~3.5의 증폭비 효과를 가질 수 있다. 이 경우엔 μ_1 은, μ_2 와 달리 클러치가 한 번 작동하면 variation이 많이 크지 않은 값을 고려했을 때 2~3의 안정적인 증폭비를 가지면서 작동되도록 설계가 가능하다. 따라서 wedge의 재질은 μ_2 가 0.1~0.15 값을 가지는 재질로 만들고, α 값은 약 33도로 설계하는 것으로 결정 할 수 있다. 검토를 위해, α 가 33도일 때 μ_1 과 μ_2 에 따른 증폭비의 변화를 그림 13에 나타내었다.

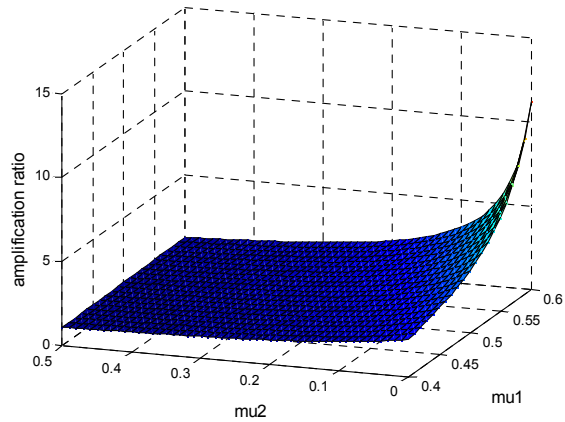


Fig. 13 ($\alpha = 33^\circ$) μ_1 와 μ_2 값에 따른 증폭비의 변화

α 가 33도 일 때는 $\mu_1 = 0.6$ 이고 $\mu_2 = 0$ 에 가까운 비현실적인 상황을 제외하고는 안정적인 증폭 효과를 얻을 수 있다는 것을 그림 13에서 확인할 수 있다. 특히, μ_2 가 0.1 ~ 0.15 사이의 값을 갖도록 wedge가 설계 되었을 때는 2~3에 이르는 안정적인 일정한 증폭비를 갖게 된다.

4. 결 론

본 논문은 에어컨 클러치의 actuation 에너지를 줄이기 위한 방법으로 자기강화 원리를 이용하는 wedge의 구조를 추가할 것을 제안하였다. 자기강화 원리의 증폭비에 영향을 주는 wedge 면의 마찰 계수, pulley 면의 마찰 계수, leaf 스프링의 힘, locking condition 등에 대해서 분석을 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 최종적으로는 wedge의 slope 각도를 결정하였다. Wedge를 마찰계수가 0.1~0.15인 재질로 설계할 수 있다면 설계된 wedge 각도로는 이론적으로 2~3배 에 이르는 안정적인 자기강화 증폭비를 얻을 수 있다.

추후 과제로는 한 클러치 시스템에 장착될 wedge의 높이와 크기, 개수를 최대 허용 하중 등을 고려하여 결정을 하고, 각 파라미터 값들이 시스템에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 클러치 시스템의 체결과 해제에 대한 dynamic 모델링을 수행하는 것이 될 수 있다.

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과(IITP-2015-H8601-15-1005)와 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0028680)”