

## 브레이크 마찰력 증가를 위한 상용차용 전기-기계식 브레이크의 썸기 설계

이상민<sup>1</sup> · 박정훈<sup>1</sup> · 남강현<sup>2</sup> · 유창희<sup>3</sup> · 박상신<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>영남대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>영남대학교 기계공학부,

<sup>3</sup>상신브레이크 상용개발부

### Design of Wedge in the Electro-Mechanical Brakes for Commercial Vehicles to Boost Braking Friction Forces

Sang Min Lee<sup>1</sup>, Jeonghun Park<sup>1</sup>, Kanghyun Nam<sup>2</sup>, Chang-Hee Yoo<sup>3</sup> and Sang-Shin Park<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, Dept. of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Kyongsan-city, Kyungbuk 38541, Korea

<sup>2</sup>School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Kyongsan-city, Kyungbuk 38541, Korea

<sup>3</sup>CV Brake Development Dept., Sangsin Brake Co., Ltd., Daegu Metropolitan City, Daegu 43023, Korea

(Received February 21, 2018; Revised March 19, 2018; Accepted March 20, 2018)

**Abstract** – This paper proposes a new type of electro-mechanical wedge brake for commercial vehicles. The brake operates on a novel mechanism for self-boosting braking friction forces using eccentric shafts, and involves wedges that are inserted between the rampbridge and traverse; this self-boosting mechanism is explained herein. A dynamic analysis using ADAMS was conducted, and the findings are reported. The constraint and contact conditions are explained to verify the precision of the dynamic analysis. The dynamic analysis shows that in the proposed mechanism, the self-boosting effect occurs as desired. However, it is also noted that the system has a limitation in terms of the production of unlimited braking forces that can jam the roller inside the wedges. After demonstrating the self-boosting effect, dynamic analyses are performed for several values of the wedge angles and friction coefficients between the brake pads and disks. Conventionally, a lower wedge angle has been suggested owing to its provision of a larger clamping force for given friction coefficients. However, it is noted that lower wedge angles can lead to a higher probability of occurrence of undesirable high braking forces, which can jam the roller into the wedge; thus, a larger wedge angle is preferable for avoiding the undesirable jamming phenomena. These analysis results are presented and discussed herein.

**Keywords** – electro-mechanical wedge brake(전기-기계식 썸기 브레이크), self-boosting(자기배력), clamping force(브레이크력), wedge angle(썸기각), friction coefficient(마찰계수)

### 1. 서 론

화석연료 에너지의 고갈 및 환경문제 등을 이유로 자동차 업계에서는 기존의 내연기관을 이용한 자동차에서 벗어나, 전기 자동차의 연구 개발이 활발히 진행되고

있다. 이에 발맞추어 차량 제동 부문에 있어서도 전기식 브레이크 시스템 개발이 활발히 이루어 지고 있다[1].

특히, 상용차용 전기식 브레이크는 승용차에 비해 큰 제동력이 필요하고, 24V DC 전원 체계와, 구동 모터의 출력의 한계 문제로 인하여 단순 모터 구동에 의한 전기식 브레이크가 아닌, 자기배력 기구를 이용한 전기-기계식 브레이크가 필요하며, 현재까지 전기-기계식 브레이크의 자기 배력 메커니즘 관련하여 연구된 사례에는 썸기형(Wedge type)[2-4], 스크류형[5], 캠형[6] 등

\*Corresponding author: pss@ynu.ac.kr  
Tel: +82-53-810-3538, Fax: +82-53-810-4627  
http://orcid.org/0000-0002-1201-558X  
© 2018, Korean Tribology Society

다양한 종류가 있다.

이 중 썰기형 브레이크(EWB: Electrical Wedge Brake)는 캘리퍼 기구 내부의 경사면과 제동 시 발생하는 마찰력을 이용하여 브레이크 패드를 당기는 힘을 증대시키는 형태이며, 제동력을 이용하여 배력 효과를 만들어내기 때문에 작은 구동력으로 큰 제동력을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 브레이크 패드와 디스크 사이의 마찰계수와 썰기의 경사각에 따라 썰기가 잠겨버리는 끼임 현상이 발생할 수 있기 때문에 이 현상을 회피하기 위한 썰기 각도의 선정이 매우 중요하다[7,8].

현재까지 전기-기계식 썰기 브레이크의 썰기 효과와 관련하여 진행된 연구 사례를 보면 썰기와 디스크 사이의 평형 방정식을 유도하여 끼임 현상을 표현한 사례는 있었지만 실제 실험이나 해석을 통해 썰기 각도와 브레이크 패드의 마찰계수와 관계 분석한 결과는 거의 찾기 어려운 실정이다[9-11]. 또한 썰기 효과에 의한 브레이크 작용력 증가율인 배력비에 대해서 썰기 각도와 브레이크 패드의 마찰계수가 어떠한 상관관계를 갖는지에 대해 연구한 사례는 없었다. 또한 마찰계수와 브레이크의 사이의 상관관계를 연구한 사례는 있으나 이는 전기-기계식 브레이크가 아닌 로프 브레이크의 경우였다[12].

본 연구에서는 편심축 그리고 썰기를 이용하여 설계된 새로운 상용차용 EWB의 구조를 소개하고, 다물체 동역학 해석 프로그램을 이용하여 제동 시뮬레이션을 통해, 상용차 제동에 적합한 제동력과 썰기 효과에 의한 자기 배력의 효과를 검토하고, 썰기 각도와 패드의 마찰 계수와의 관계에 대해서 고찰하였다.

## 2. 전기-기계식 썰기 브레이크의 메커니즘

Fig. 1에는 본 연구에서 연구대상으로 한 상용차용 전기-기계식 썰기 브레이크의 개념도를 나타내었다. 전기-기계식 브레이크는 모터의 회전력을 편심축에 전달하여 회전시키면, 편심축이 램프 브릿지(ramp bridge)를 디스크 쪽으로 이동시키고, 이 램프브릿지가 롤러, 트래버스(Traverse) 및 피스톤을 이동시킨다. 이 이동에 의해서 마찰패드와 디스크와 접촉하게 되고, 차량이 정지할 때까지 모터의 토크가 작동한다. 디스크가 정지되어 있는 경우에는 편심축에 전달되는 토크에 의해서만 브레이크력이 발생하지만, 회전하고 있는 디스크에 마찰패드가 접촉하게 되면, 디스크와 패드 사이의 마찰력이 트래버스를 디스크 회전방향으로 미소 이

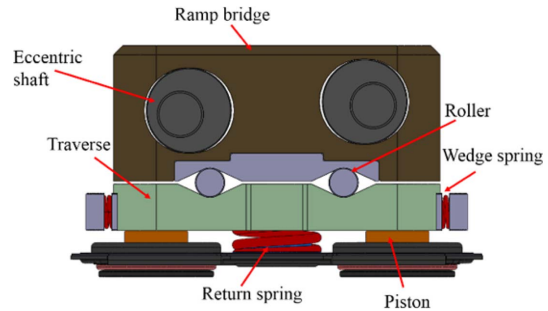


Fig. 1. Schematics of electronic wedge brake.

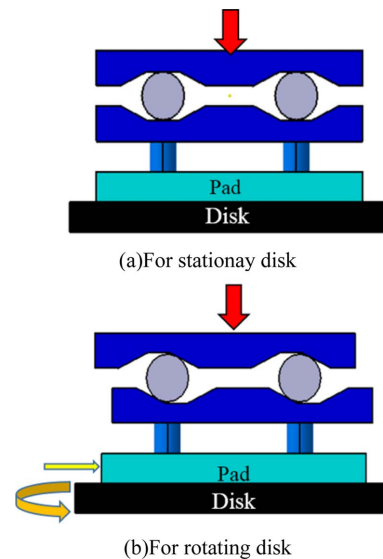


Fig. 2. Principle of wedge effect.

동을 시킨다. 이 미소 이동량이 트래버스와 램프 브릿지 사이에 있는 롤러를 회전시켜 경사면을 따라 미소량만큼 굴러가게 된다. 이 롤러의 구름에 의해 롤러가 썰기 사이로 이동하여 브레이크 작용력이 모터에서 주어진 작용력 보다 증가하게 되는 배력 구조이다. 이러한 배력 작용의 원리를 Fig. 2에 나타내었다.

## 3. 동역학 해석

### 3-1. 동역학 해석을 위한 모델링

우선 동역학 해석을 하기 앞서서 각 부품의 강도가 충분한지 강도설계를 해야 한다. 강도설계는 참고문헌에 자세히 기술되어 있어 본 연구에서는 지면의 한계상 기술하지 않았다[13]. 본 연구에서는 편심축, 램프 브릿지, 트래버스, 롤러, 피스톤, 마찰패드 및 디스크의

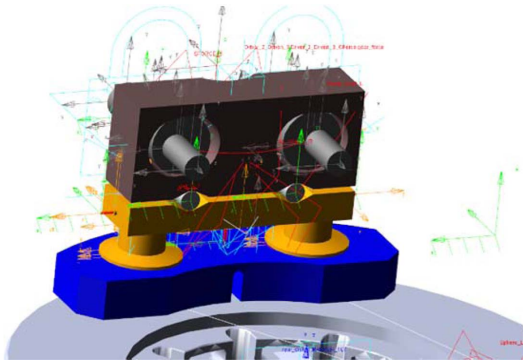


Fig. 3. Example of a modeling for dynamic analysis using ADAMS.

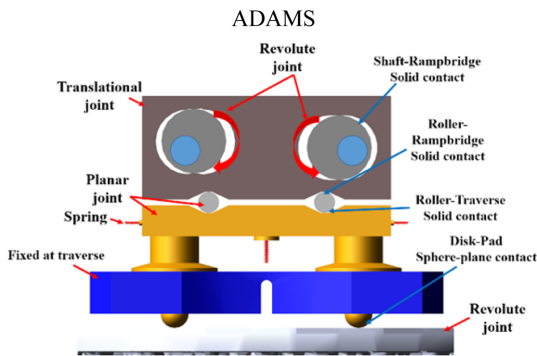


Fig. 4. Constraint and contact condition for analysis.

연성 동역학 해석을 진행하였다. 해석에 있어서는 다 물체 동역학 프로그램인 ADAMS view 2015 를 사용하였다. Fig. 3은 해석 모델링이 완료된 모습의 예를 나타내고 있다.

동역학 해석에서는 각 부품의 구속조건 및 접촉조건 의 설정에 따라 해의 정밀도가 정해질 수 있으며, 각 구속 조건이나 접촉조건이 실제 물리현상과 다른 조건 으로 설정하게 되면, 우리가 원하는 해석 결과를 얻지 못하는 경우도 발생할 수 있다.

Fig. 4에는 본 연구에서 사용한 구속조건 및 접촉 조건을 나타내었다. 편심축은 1 자유도 회전만 가능한 회전 연결대우(revolute joint)로 설정하였고, 램프브릿 지는 1 방향 병진운동만 가능한 1차원 병진 연결 대 우(translational joint)로 설정하였다. 트래버스 및 롤러 는 평면 내에서 자유롭게 운동이 가능한 평면 연결 대 우(planar joint)를 적용하였다. 접촉조건인 경우에는 램 프브릿지와 롤러, 롤러와 트래버스 사이에는 선 접촉 (line contact) 조건을 설정하였으며, 패드와 디스크 사

Table 1. Specification of the Wedge Brake

Torque Capacity	10 kN·m
Wedge degrees	15~27.5 deg
Disk Radius	100~200 mm

이에는 해석 시간 및 수렴성 개선을 위하여 질량 없는 2개의 구를 추가하여 구-평면 접촉(sphere-plane contact)으로 설정하였다.

Table 1에는 본 연구에서 해석 대상으로 삼은 브레 이크의 제원에 대해서 나타내었다.

ADAMS 에서 접촉조건을 적용하기 위해서는 접촉 조건 설정단계에서 마찰 접촉 상태의 마찰계수 및 조 건을 설정해야 한다. 본 연구에서 사용한 마찰 설정은 최대한 실제 모델의 해석에 맞는 값을 사용하였으며, Table 2에 나타내었다. 여기서  $\mu_s$ 와  $\mu_k$ 는 각각 마찰 패드와 디스크를 제외한 접촉면들에서의 최대정지마찰 계수 및 운동마찰계수이다. 또한 Stiction transition velocity는 정지마찰을 적용하는 최대 속도이며, friction transition velocity 이상에서는 동마찰계수를 적용하고, 두 값 사이의 속도에서는 마찰계수가 선형 적으로 변화하는 것으로 가정하여 계산하였다. 마찰패 드와 디스크 사이의 마찰계수는 본 연구에서는 0.2에 서 0.6 사이의 다양한 값을 이용하여 해석하였기 때문 에 Table 2에는 수록하지 않았다.

Fig. 5에는 본 연구에서 개발한 췌기 브레이크의 배 력 효과를 규명하기 위해서 하중을 가하는 순서를 나 타내었다. 실제 브레이크에서는 디스크가 회전하고 있 는 상황에서 브레이크가 작동하면 패드와 디스크가 운 동마찰을 일으키는 부위까지 패드가 전진하고, 편심축 에 더 큰 토크를 전달하여 충분한 마찰력으로 디스크 를 정지시킨다. 그러나 ADAMS 해석에서는 디스크를 먼저 회전시킬 수 있는 방법이 없기 때문에, 배력 효 과를 확인하기 위해서 다음과 같은 2단계 작업을 통해

Table 2. Setting for friction contact condition

Parts	$\mu_s$	$\mu_k$	Friction Transition Velocity [mm/s]	Stiction Transition Velocity [mm/s]
Roller-Rampbridge	0.055	0.05	1	0.01
Roller-Traverse	0.055	0.05	1	0.01
Pad-Disk	-	-	10	1

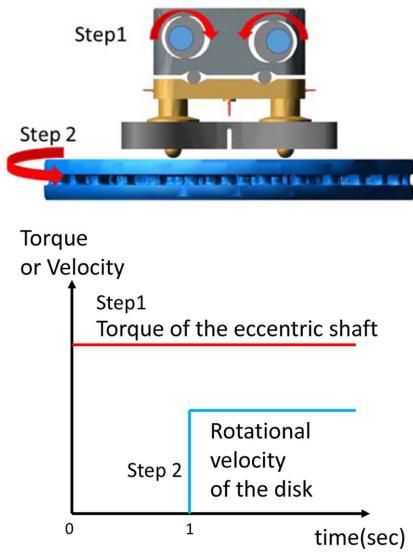


Fig. 5. Loading input for calculating self-reinforcement.

서 입력을 주었다.

단계 1) 디스크를 정지시켜 놓은 상태에서 편심축에 토크를 작동시켜 1초 동안 패드가 디스크를 누르는 브레이크 작용력을 계산한다.

단계 2) 1초 후에는 디스크와 패드가 접촉한 상태에서 디스크에 토크를 작동시켜 브레이크 작용력을 계산하여 배력을 확인한다.

3-2. 동역학 해석 결과

전기-기계식 썰기 브레이크의 설계에 있어서 가장 먼저 수행해야 할 사항은 썰기 효과가 잘 일어나는 구조 인가를 확인해야 한다. 이러한 목적을 위해서 본 연구에서는 패드와 디스크 사이의 마찰계수와 썰기 각 사이의 상관관계를 우선적으로 밝히고자 연구를 수행하였다. 마찰 계수 및 썰기각의 정의는 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 7에는 Fig. 5에서 설명한 방법대로 하중을 부가한 경우 1초 후에 디스크의 마찰력으로 인해 하중이 증가하는 배력 효과를 나타내는 결과의 예이다. 디스크를 정지시키고 편심축에 토크만 부가하여 일정한 브레이크 클램핑력이 구해진 후, 1초의 순간에 마찰패드에 접선력을 가하면 썰기 효과가 생기면서 브레이크 클램핑력이 증가한다. 또한 브레이크 클램핑력은 마찰 계수가 증가함에 따라 커지는 현상도 볼 수 있다. 이는 마찰 계수가 커지면 배력효과도 커진다는 것을 의미한다.

Fig. 8에는 썰기각은 15도로 일정한 상태에서 마찰

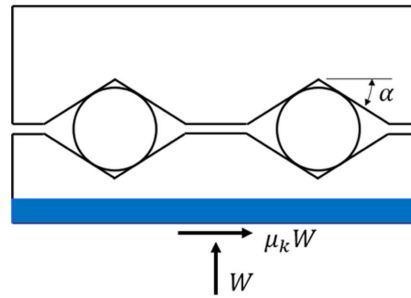


Fig. 6. Definition of wedge angle  $\alpha$  and friction coefficient  $\mu_k$ .

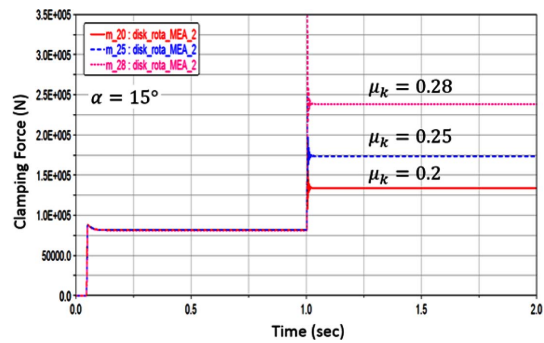


Fig. 7. Example of Clamping for wedge angle 15°.

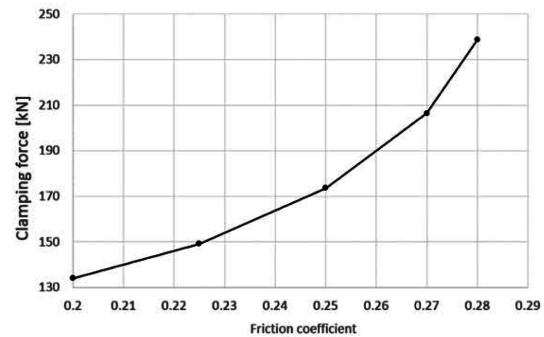


Fig.8. Clamping forces for edge angle 15° according to the friction coefficient between pad and disk.

계수를 변화시켜가면서 배력이 일어난 후의 최종 클램핑력을 나타낸 그래프이다. 앞에서 설명한대로, 마찰 계수가 증가함에 따라 클램핑력은 점차 증가하며, 마찰 계수가 0.28을 초과하게 되면 썰기 각 15도에서 클램핑력이 상당히 커지게 된다. 이렇게 클램핑력이 커지는 현상은 롤러와 썰기 사이에 끼임이 일어나는 현상을 야기시키기 때문에 모터를 역회전 시키더라도 패드가 제자리로 돌아오지 못하는 현상이 발생할 가능성이 높다. 따라서 클램핑력이 급격히 커지지 않는 선에서 설

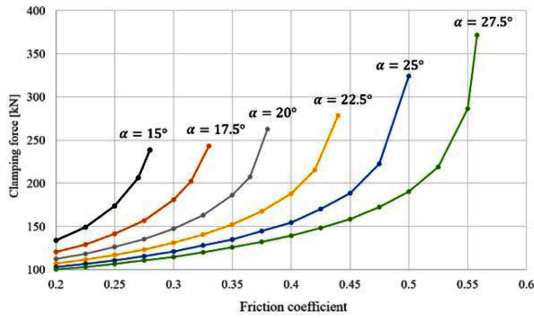


Fig. 9. Clamping forces according to the friction coefficients and wedge angles.

계가 이루어져야 한다.

Fig. 9에는 썰기각을 15, 17.5, 20, 22.5, 25 및 27.5 도로 바꾸어 가면서 마찰계수에 따른 브레이크 클램핑력의 변화를 나타낸 그래프이다. 그림에서 보듯이 썰기 각이 작은 경우에는 클램핑력이 무척 커지는 마찰계수의 한계가 작다. 따라서 자동차에 브레이크에 주로 사용되는 범위인 마찰계수 0.3~0.4 사이에서는 썰기각이 22.5도 이상은 되도록 설계하는 것이 바람직하며, 마찰계수를 더 큰 패드를 사용할 경우에는 더 큰 썰기각을 사용해서 설계하여야 한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 편심축, 썰기를 이용한 새로운 형태의 상용차용 전기-기계식 썰기 브레이크를 개발하고 제동 메커니즘을 소개하였다. 이 브레이크에 대한 동역학 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 연구에서 개발한 전기-기계식 브레이크는 썰기 효과에 의해 제동력이 증가하는 배력 효과가 있다.
- (2) 배력비는 브레이크 패드와 디스크간의 마찰계수가 증가할수록 커지며, 썰기각에 따라 클램핑력이 상당히 커지는 지점이 생긴다.
- (3) 사용하고자 하는 패드의 마찰계수에 따라 끼임 현상이 발생하지 않는 최소의 썰기각이 존재하며, 썰기각은 이 값보다 크게 설계해야 한다.

#### Acknowledgements

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다.

#### References

- [1] Schmittner Bernhard, "Electric parking brake on the way to standard - New Trends", SAE Technical paper series, DOI: 10.4271/2015-01-2669, 2015.
- [2] Roberts, R., Gombert, B., Hartmann, H., Lange, D. et al., "Testing the mechatronic wedge brake", SAE Technical Paper 2004-01-2766, DOI: 10.4271/2004-01-2766, 2004.
- [3] Ho, L., Roberts, R., Hartmann, H., Gombert, B., "The Electronic wedge brake - EWB", SAE Technical Paper 2006-01-3196, DOI:10.4271/2006-01-3196, 2006.
- [4] Kim, J., Kim, M., Kim, J., Noh, K., "Developing of electronic wedge brake with cross wedge", SAE Technical Paper 2009-01-0856, 2009, DOI:10.4271/2009-01-0856, 2009.
- [5] Jean-Marc Belmond, Motor vehicle electric parking brake, US Patent No. 5, 590, 744, 1997.
- [6] Kobayashi et al., Electrically driven brake booster, US Patent No. 6,634,724 B2, 2003.
- [7] Jae Seung Chun, "Brake by wire system configuration and functions using front EWB (electric wedge brake) and rear EMB (electro-mechanical brake) actuators", SAE Technical Paper 2010-01-1708, DOI: 10.4271/2010-01-1708, 10.4271/2010-01-1708, 2010.
- [8] Jong Rok Jung, Eun Sung Ko, Hi Sung Lee, "Influence of disk mass with regard to frictional characteristics of brake disk for rolling stock", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 30, No. 4, pp. 240~245 DOI:10.9725/kstle.2014.30.4.240, 2014.
- [9] Kwon, Y., Kim, J., Cheon, J., Moon, H. et al., "Multi-Objective optimization and robust design of brake by wire system components", *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.*, Vol. 6, No. 3, pp. 1465-1475, DOI: 10.4271/2013-01-2059, 2013.
- [10] Fox, J., Roberts, R., Baier-Welt, C., Ho, L. et al., "Modeling and control of a single motor electronic wedge brake", SAE Technical Paper 2007-01-0866, 2007, DOI: 10.4271/2007-01-0866, 2007.
- [11] Putz, M., Wunsch, C., Schiffer, M., Peternel, J., "Test results of a sensor-less, highly nonlinear electro-mechanical brake", SAE Technical Paper 2014-01-2541, DOI: 10.4271/2014-01-2541, 2014.
- [12] Joosup Jang, "Design parameters considering friction characteristics for rope brake system of elevator", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 29, No. 3, pp. 171-179, June, DOI: 10.9725/kstle-2013.29.3.171, 2013.
- [13] Sang Min Lee, "Structural and dynamic analysis of electronic wedge brake for commercial vehicle", Master Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, Yeungnam University, 2017.