

대형 굴삭기용 주차 브레이크의 마찰 특성 분석 Analysis of the Friction Characteristics of Parking Brake for Large Size Excavator

이용범 · 김광민
Y. B. Lee and K. M. Kim

(접수일 : 2011년 09월 14일, 수정일 : 2011년 12월 26일, 채택확정 : 2012년 01월 06일)

Key Words : Excavator(굴삭기), Track Driving Motor(주행 모터), Parking Brake(주차 브레이크), Coefficient of Friction(마찰 계수), Multi-friction Discs(다중 마찰 판)

Abstract : The parking brake is one of the essential units embedded in track driving motor for forward and backward motion of an excavator. It is composed of multi-friction discs. When the hydraulic motor stops, the multi-friction discs closely stick to the facing discs by acting of multi-spring forces. So, the friction forces generate the braking force by compressing the cylinder barrel of hydraulic motor. In this study, we combined the multi-friction discs to two kinds of spring which have different spring force. and the maximum torque measured at the rotational starting point of hydraulic motor through gradually increasing the rotational torque of load side hydraulic motor by use of 1 and 2 sheets of friction plates. And, under this experimental condition, the maximum coefficient of static friction and the characteristics of paper friction sheet were analyzed. The obtained experimental results will be applied to the design of parking brake system for producing large size excavator in the 85-ton weight class.

기호설명

- D_a : 스프링 중심경 (mm)
- d : 스프링 선경 (mm)
- F_s : 스프링 힘 (N)
- G : 횡탄성 계수 (N/mm^2)
- k : 스프링 상수(N/mm)
- N_a : 스프링의 유효 권수
- n : 마찰면의 수
- n_s : 스프링의 수
- r_m : 마찰면의 유효반경 (mm)
- T_B : 브레이크 토크 ($N \cdot m$)
- δ : 스프링의 변형 량 (mm)
- μ : 마찰 계수

1. 서 론

굴삭기를 전진 및 후진시키는 주행 모터에는 주차 브레이크가 내장되어 있다. 이 브레이크는 다중 마찰 판 형식으로 구성되어 있으며 유압 모터 정지 시 스프링의 힘에 의해 마찰판과 상대 판이 밀착되어 그 마찰력으로 실린더 배럴을 회전하지 못하도록 잡아 주어 브레이크 기능을 하게 된다. Fig. 1은 굴삭기의 주행 모터에 사용되는 주차 브레이크의 구조도이다.

굴삭기의 주차 브레이크는 주차되어있을 때, 뿐만 아니라 굴삭작업을 하는 중에 작업충격이나 자중을 포함한 굴삭부하가 발생했을 때에도 굴삭기의 차체를 지면에 견고하게 고정해주는 역할을 한다.¹⁾

따라서 굴삭기가 주차 했을 경우와 작업 중에 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 주차 브레이크 특성을 분석하고 제품설계에 반영을 하여한다.

그러나 현재까지 브레이크에 관한연구는 Kim S. H.²⁾ 등은 브레이크 토크 변동을 줄이기 위해 브레이크 코너 시스템의 영향력을 주는 요인을 분석하였고, Bae M. H.³⁾ 등은 동 소결 마찰 재 및 탄소페이퍼 재질 등의 휠 굴삭기용 습식 다판 브레이크의 계동특

Y. B. Lee(corresponding author) : Department of System Reliability, Korea Institute of Machinery and Materials.
E-mail : lyb662@kimm.re.kr, Tel : 042-868-7151
K. M. Kim : WooRim Merchinery Co. LTD.

성에 대하여 연구하였으며, Jung D. S.⁴⁾ 등은 습식 다판 브레이크의 일정한 압력 분포와 마모량이 일정한 경우로 가정하고 미소부분의 토크를 연구하였으나 굴삭기의 주차 브레이크에 관한 연구는 진행되지 않았다.

본 연구에서는 차체중량 85ton 급 초대형 굴삭기의 주차 브레이크 설계 자료를 확보하기 위하여, 주행 모터 구조에서 마찰 판(multi friction disc)의 수량과 서로 다른 힘을 가지는 2종의 스프링을 결합시키고, 구동 유압 모터 부에 압력을 상승시킴으로서 회전력이 서서히 증가되어 브레이크가 내장된 시험부 모터가 회전하는 시점에서의 최대 토크를 측정하여 종이(paper) 마찰재의 최대 정지 마찰 계수 확인과 최적의 스프링 힘 특성을 분석하였다.

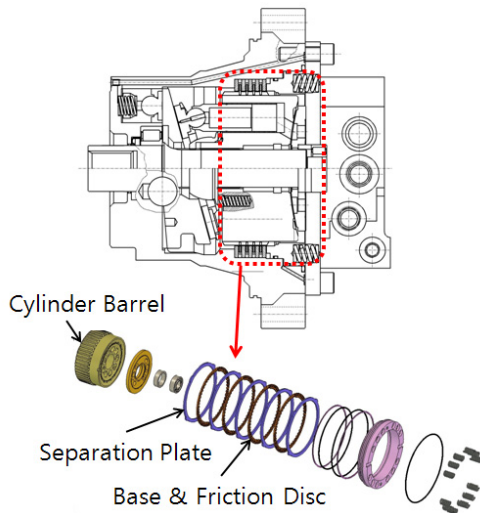


Fig. 1 Model of parking brake

2. 주차 브레이크 특징 및 마찰재의 선정

굴삭기에 사용되는 다중 마찰 판 형식의 주차 브레이크는 유압 모터의 회전하는 실린더배럴과 고정된 모터하우징 사이에 다중 마찰 판과 고정판을 설치하고, 이판을 유압실린더와 여러 개의 강철 스프링을 사용하여 결합시키고 유압을 가함으로서 해제를 시킨다. 주차 브레이크의 작동원리는 주행 모터에 유압유를 공급받게 되면 카운터 밸런스 밸브 스톱에 파일럿(pilot)압력이 공급되어 스톱을 전환하게 되는데 이때 중앙부분에 있는 주차 브레이크 파일럿 관로를 통해 주차 브레이크 실린더에 압력이 공급되어 실린더가 스프링의 힘을 상쇄시켜 다중 마찰 판 사이에 간격이 생김으로서 브레이크가 해제된다. 따라서 굴삭기가 전진 및 후진을 위하여 유압 모터가 회

전하는 경우에는 마찰 없이 자유롭게 회전할 수 있다. 굴삭작업을 하는 경우에도 전진 및 후진이 필요 없어 굴삭기 주행 모터가 정지해 있을 경우는 주차 브레이크에 압력이 전달되지 않아서 실린더는 스프링 힘에 의해 마찰 판과 고정판을 밀어 주차 브레이크가 작동하게 된다.⁵⁾ 마찰 판에 사용되는 마찰 재는 종류에 따라 상이한 마찰특성을 지니고 있으며, 내구성, 전달 토크 등을 고려하여 선택하여야 한다. 본 연구에서 사용된 종이 마찰 재는 특수한 펄프(pulp)와 금속 산화물, 무기 화합물을 혼합해서 수지(resin)를 이용하여 결합시킨 복합재이다. 종이 마찰 재는 주로 습식으로 사용되며, 타 습식 마찰 재에 비하여 마찰 계수가 높으며, 탄성이 뛰어나고 Oil 흡수 능력이 뛰어나다. 이러한 특성 때문에 Stick Slip으로 인한 파손, 마모의 방지와 소음이 적고 진동에 뛰어난 내구성을 보인다. 또한 고 마찰 계수를 활용하여 견고한 브레이크를 설계할 수 있으며 브레이크의 경량화를 가능케 하여 비용을 절감하여 설계를 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

3. 시험 장치 및 시험 방법

3.1 시험장치

굴삭기가 주차 되어 있거나, 굴삭작업 중 정지되어 있는 상황 등의 기능을 재현할 수 있도록 Fig. 2와 같이 시험 장치를 구축하였다. 시험시료는 초대형 굴삭기용 320 cc/rev 주행 모터에 브레이크를 설치하였으며, 큰 토크로 구동을 하기 위하여 대용량 750 cc/rev의 부하용 레이디얼 피스톤 형 모터(radial piston type motor)를 설치하였다. 정확한 시험압력과 유량제어를 위하여 비례제어밸브를 사용하였고, 유압 모터의 주차 브레이크 기능과 성능을 측정하기 위해 모터의 입구 및 출구 측에 각각 압력센서가 장착되었으며, 구동모터와 시험 모터 중간에 토크미터와 회전수 측정센서가 부착되어 있다.

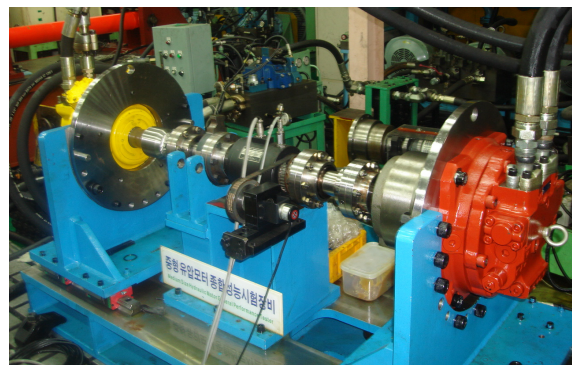


Fig. 2 Photo of test mechanism for parking brake

Table 1~3은 압력센서, 토크센서 및 회전수 센서에 대한 사양을 나타내었다.

Table 1 Specifications of pressure sensor

No.	Item	Specifications
1	Measuring Range	0~70 [MPa]
2	Stability	0.2 [%] FS max.
3	Linearity	0.1 [%] FS
4	Hysteresis	0.1 [%] FS
5	Rated output	0~10 [V]

Table 2 Specifications of torque sensor

No.	Item	Specifications
1	Measuring Range	-2000~2000 [Nm]
2	Accuracy	±0.5 [%]
3	Reliability	0.3 [%] FS
4	Rated output	0~10 [V]
5	Hysteresis	0.2 [%] FS
6	Torque signal with limit frequency	16 [kHz]

Table 3 Specifications of rpm sensor

No.	Item	Specifications
1	Measuring Range	0~5000 [rpm]
2	Number of pulses/revolutions	60
3	Output signal	24 [V]

3.2 시험방법

시험 부 유압 모터는 마찰 판이 충분히 오일을 흡수 할 수 있도록 30분간 시운전을 시행한다. 유압 모터의 주차 브레이크가 작동된 상태에서 부하 모터 측에 압력을 서서히 증가시켜 회전력을 가하여 브레이크가 장착된 시험 부 모터가 회전 할 때까지 토크를 증가시켜 시험 부 모터가 회전하는 시점에서의 최대 토크를 측정한다.

본 연구에서는 서로 다른 스프링의 힘을 가지는 스프링 2종(A, B)을 설계하여 디스크 1장과 2장을 각각 4회 시험을 실시하여 종이 마찰 재를 이용한 마찰 판의 마찰특성 및 마찰 계수를 분석하고자 한

다. Fig. 3은 시험 장치를 계략적으로 나타낸 것이며, Fig. 4는 시험에 사용된 Friction Disc와 Separation Plate의 시험편의 도면을 나타낸 것이다.

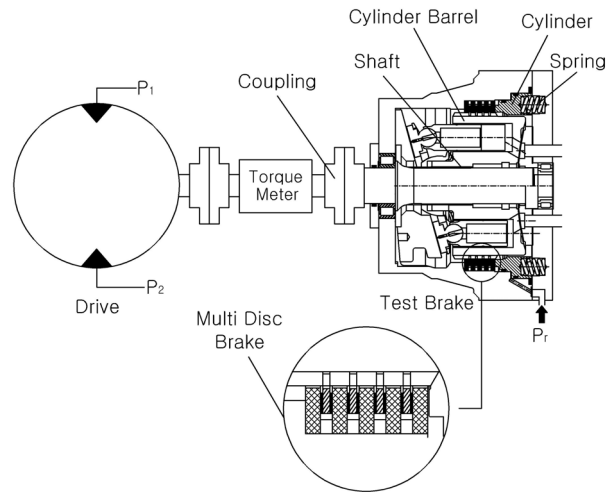
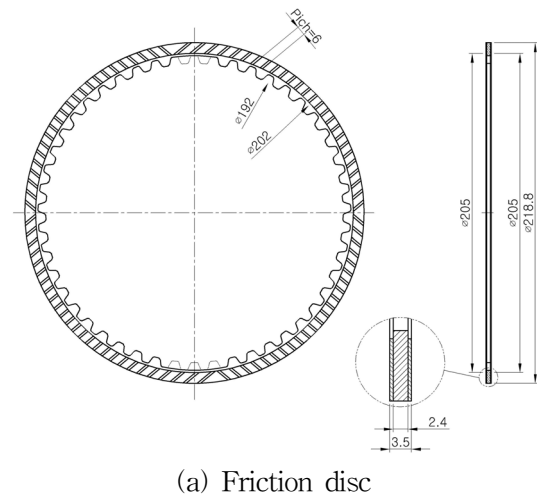
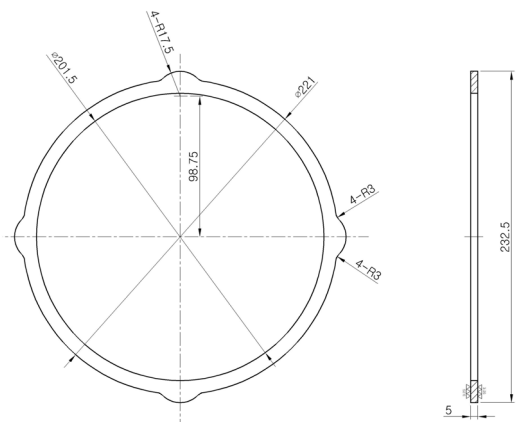


Fig. 3 Schematic diagram of multi discs brake test system



(a) Friction disc



(b) Separation plate

Fig. 4 Friction disc & separation plate drawings of the multi discs brake

4. 시험결과 및 분석

4.1 이론값 계산

Table 4는 마찰 판에 가해지는 스프링 힘을 다르게 하기 위해 2종(A, B)의 스프링을 설계하여 제작한 스프링의 제원이며, Table 5는 브레이크 시스템의 사양을 나타낸 것이다.

Table 4 Parking brake spring specification

No	Item	A	B
1	Wire diameter (d)	4.5 [mm]	4 [mm]
2	Coil PCD (D _a)	17.9[mm]	16.5[mm]
3	External diameter (d ₀)	22.4[mm]	20.5[mm]
4	Total number of coil turns (N _t)	6 3/4	6 1/5
5	Number of active coil turns (N _a)	4 3/4	4 1/5
6	Free length (L)	40[mm]	43.9[mm]
7	Spring constant load rate (k)	147.59 [N/mm]	133.08 [N/mm]
8	Module of elasticity (G)	78435 [N/mm ²]	
8	Number of spring (n _s)	12	14
9	Displacement of spring (δ)	6.6 [mm]	6.9 [mm]

Table 5 Parking brake system specification

No	Item	Spec.
1	External radius of disc pad (r ₀)	109.4 [mm]
2	Internal diameter of disc pad (r _i)	102.5 [mm]
3	External diameter of Cylinder (D _o)	253.8 [mm]
4	Internal diameter of Cylinder (D _i)	234.8 [mm]
5	The number of friction surface	2 or 4
6	Coefficient of friction (Paper)	0.13~0.30

브레이크의 토크는 마찰 계수, 축방향의 작동력, 평균반경, 마찰면의 수에 의해서 결정되며, μ가 정 마찰 계수 일 경우, 마찰재료의 마찰 계수를 이용한 브레이크 토크는 다음식과 같다.^{5),6)}

$$T = \mu F_s r_m n \tag{1}$$

여기서 F_s는 스프링의 힘으로, 압축 길이 방향의 변위를 스프링 전 길이에 대하여 적분하면,

$$\delta = \int_0^{\pi n} \frac{8FD}{GJ} d\alpha = \frac{8N_a F D_a^3}{G d^4} \tag{2}$$

여기서, F에 관한 식으로 정리하면,

$$F = \frac{G d^4 \delta}{8 D_a^3 N_a} \tag{3}$$

이 된다. 따라서 주차 브레이크의 힘은 스프링 하나의 힘에 스프링 개수를 곱한 것과 같으므로,

$$F_s = \frac{G d^4 \delta}{8 D_a^3 N_a} \times n_s \tag{4}$$

이 된다. 따라서 주차 브레이크의 마찰토크는 스프링의 힘과 마찰 계수, 마찰면의 수, 평균반경으로 표시되며 다음과 같이 나타난다.

$$T_B = \mu \frac{G d^4 \delta}{8 D_a^3 N_a} n_s r_m n \tag{5}$$

여기서, r_m은 마찰면의 유효평균반경으로 마찰 판의 전 접촉면에 걸쳐 마모량이 일정하다고 가정하면 마찰면의 유효 반경은 마찰 면의 산술평균반경이 된다.

$$r_m = \frac{r_i + r_o}{2} = \frac{0.1094 + 0.1025}{2} = 0.106 \text{ [m]} \tag{6}$$

따라서 A의 마찰 판 1장에서 브레이크 토크를 계산하면 다음과 같이 나타난다.

$$T_B = 0.215 \times \frac{(78435)(4.5)^4(6.6)}{8(17.9)^3(4\frac{3}{4})} \times (12)(0.106)(2) = 532.74 \text{ [N m]} \tag{7}$$

마찰 계수는 종이 마찰재의 마찰 계수 범위에서 평균값으로 0.215를 선정하여 위와 같은 방법으로 A와 B의 마찰 판 1장과 2장인 경우의 브레이크 토크를 계산하면 Table 6과 같다.

Table 6 Theoretical parking brake torque

No	Number of friction disc	A	B
1	1 ea	532.74 [N m]	585.75 [N m]
2	2 ea	1065.48 [N m]	1171.50 [N m]

4.2 시험결과 분석

본 시험에서는 마찰 계수를 보다 정확한 값을 유추하기 위해 스프링 2종을 설계하여 서로 다른 스프링의 힘을 이용해 마찰 판을 1장과 2장이 슬립(slip)이 일어날 때 까지 토크를 증가시켜 슬립이 일어난 시점의 토크를 측정하는 시험을 각각 4회 실시하였다. 시험 결과는 Table 7과 같으며 Fig. 5는 시험한 데이터의 평균을 그래프로 나타낸 것이다.

Table 7 Analysis of test result

Model	Number of friction disc	Theoretical brake torque (N m)	Test brake torque (N m)
A	1 ea	532.74	617.0
			612.1
			619.8
			615.1
	2 ea	1065.48	1213.8
			1254.0
B	1 ea	585.75	693.1
			681.0
			689.1
			692.1
	2 ea	1171.50	1411.0
			1389.4
			1386.2
			1404.5

따라서 시험결과를 이용하여 최대 정지 마찰 계수를 역으로 유추하는 식은 다음과 같다.

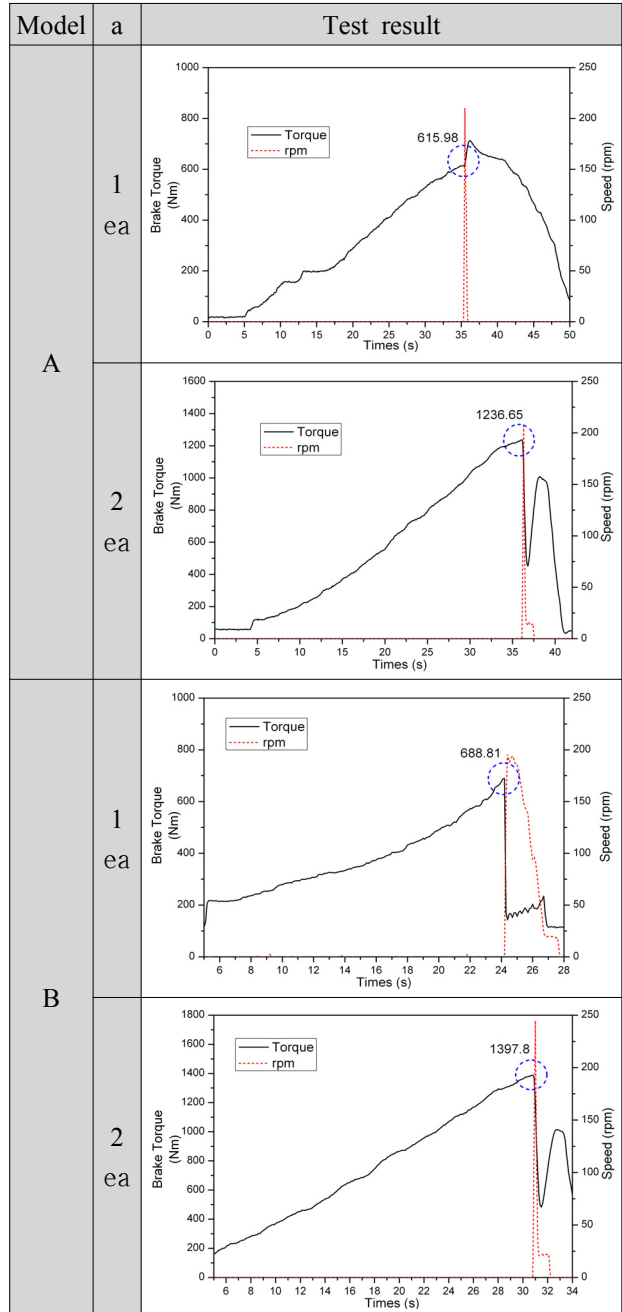
$$\mu = \frac{8T_B D_a^3 N_a}{G d^4 \delta n_s r_m n} \quad (8)$$

식(8)을 이용하여 A의 마찰 판이 1장일 때 시험에 의한 브레이크 토크 값을 이용하여 종이 마찰재의 마찰 계수를 역으로 검증한 결과는 다음과 같이 나타난다.

$$\mu_{1st(1)} = \frac{8 \times 615.98 \times (17.9)^3 \times 4 \frac{3}{4}}{78435 \times (4.5)^4 \times 6.6 \times 12 \times 0.106 \times 2} = 0.249$$

B의 마찰 판이 1장일 때 마찰 계수를 유추하면 다음과 같다.

$$\mu_{1st(1)} = \frac{8 \times 688.81 \times (16.5)^3 \times 4 \frac{1}{5}}{78435 \times (4)^4 \times 6.9 \times 14 \times 0.106 \times 2} = 0.253$$



** a : Number of friction disc

Fig. 5 Test result of parking brake torque

마찰재중 종이(paper)는 Graphitic, Low static, High static 3가지의 종류로 분류 되는데, 종이 마찰재의 정 마찰 계수는 0.13~0.30으로 표기되어 있다.

이론값을 계산할 때 주어진 마찰 계수의 평균값으로 0.215를 선정하여 이론값을 계산하였지만 시험 값과 다소 차이를 보였다. 따라서 식(8)과 같은 방법으로 A와 B의 마찰 판 1장과 2장에서 시험에 의한 브레이크 토크를 이용하여 마찰 계수를 검증한 결과 0.249~0.257 수준으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 차체중량 85ton 급 초대형 굴삭기 주차 브레이크 설계 자료를 확보하기 위하여, 주행 모터 구조에서 마찰 판의 수량과 서로 다른 힘을 가지는 2종의 스프링을 교체하며 반복 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

굴삭기의 주차 브레이크는 구동 유압 모터 부에 압력을 상승시킴으로서 회전력이 서서히 증가되어 브레이크가 내장된 시험 부 모터가 회전을 시작하는 시점에서의 최대 토크를 측정함으로써 마찰재의 최대 정지 마찰 계수를 검증할 수 있었으며, 시험한 85 ton 굴삭기용 주차 브레이크의 정지 마찰 계수는 0.249~0.257이었고, 현재 활용되고 있는 종이 마찰재의 정 마찰 계수는 0.13~0.30으로 표기되어 광범위함으로 굴삭기의 안전을 확보하기 위하여 0.256 이상의 마찰재의 선정이 필요하다.

참고 문헌

1. Y. B. Lee and J. H. Park, 2005, "Accelerated Life Analysis of Track Drive Unit", KFPS, Vol. 2, pp. 1-7.
2. S. H. Kim, E. J. Han, S. W. Kang, and S. S. Cho, 2008, "Investigation of Influential Factors of A Brake Corner System to Reduce Brake Torque Variation", International Journal of Auto-motive Technology, Vol. 9, No. 2, pp. 233-247.
3. M. H. Bae and Y. S. Jo, 2009, "Braking Characteristics of Wet-type Multiple Disc Brakes on Friction Materials", Journal of the KSTEL, Vol. 25, pp. 381-3876.
4. D. S. Jung, H. Y. Son, Y. H. Lee and S. T. Park, 1988, "The Development of a Wet Multi Type Electro-Magnetic Clutch/Brake", KIMM, B-SM 145-1203C, pp. 33-38.

5. Y. B. Lee and K. M. Kim, 2011, "Test Analysis of Parking Brake for the Track Drive Unit of Excavator", Conf. of the KSME, pp. 138-143.
6. J. P. Hong, 2007, "Fundamentals of Machine Component Design", Fifth Edition, Books hill, pp. 511-542.