

다구찌 법을 이용한 전력전환차단기의 설계

김 경선*·김 권희**

Design of an power transfer breaker by Taguchi method

Kyung-Sun Kim*, Kwon-Hee Kim**

Key words : trigger mechanism(트리거 기구), power transfer breaker(전력전환차단기), air circuit breaker(기중차단기), automatic transfer switch(자동전환스위치), neutral trigger(중립트리거), hair trigger(임계트리거), Taguchi method(다구찌 법), orthogonal array(직교 배열표)

Abstract

power transfer breaker is a device used to transfer the load from the electricity power line to the emergency generators. In case of overload, it also functions as a circuit breaker. In this work, a new mechanism for the device is suggested. Among the various design challenges, optimization of the trigger mechanism is identified as of central importance. Optimal design decisions are made with the use of Taguchi method.

1. 서 론

전력전환차단기(power transfer breaker, PTB)는 비상시 전력부하를 전력선에서 비상발전기로 이관시키는 기능을 하며 과부하에 대한 회로차단기 역할도 한다. 전력전환차단기는 기존의 자동전환스위치(automatic transfer switch, ATS)와 기중차단기(air circuit breaker, ACB)의 기능을 통합 구현하는 장치이다. 이러한 장치들은 수백 내지 수천 암페어의 정격전류를 감당하기 때문에 닫힌 상태에서 절점간에 규정된 접촉 압력을 유지 시켜주어야 한다. 회로 전환 및 차단 시에는 순간적으로 수만 암페어의 전류가 접점을 통과하

므로 접점이 열리거나 닫히는 시간을 허용치 이내로 유지하여야 한다. 이를 위하여 고속으로 작동하는 기구가 필요하게 된다. 이러한 기능은 절대적인 신뢰성을 갖추어야 한다.

PTB 에서 트리거 기구는 이동 접점이 고정 접점에 고속으로 이동하는 짧은 순간에 정확히 작동하여 이동접점을 잠김 위치에 고정하고, 적정 접점압력을 유지시키는 역할을 담당한다. 접점 해제 시에는 사용자의 조작력으로 신속한 하계 작동해야 한다.

트리거 기구의 중요성에도 불구하고 현재 사용 중인 여러 종류의 ATS 또는 ACB 트리거 기구 [1-3]의 설계에 체계적인 접근을 시도한 연구 결과는 매우 드문 실정이다[4].

트리거의 작동에 영향을 미치는 많은 변수들의 영향을 파악하고 최적의 설계조건을 얻기 위하여 다구찌법을 사용하였다. 다구찌법의 유용성은 여

* 고려대학교 기계공학과 대학원

** 고려대학교 기계공학과

러 분야에서 입증되고 있으며 기구의 설계에도 이를 적용한 사례들이 발표되고 있다[5-6].

트리거 기구의 작동 성능 시험은 수치적 모의 실험(numerical simulation)으로 실시하였으며 상용 소프트웨어인 ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical systems)를 이용하였다.

2. 실험계획 및 모델링

2.1 기구의 구조 및 작동원리

Fig.1은 PTB 주요부의 구조를 보여주고 있다. 스프링(operating spring)에 저장되어 있던 에너지는 링크 구조를 통해 이동 접점이 고정 접점에 빠른 속도로 접하도록 한다. 스프링의 에너지를 효율적으로 이용하기 위하여 플라이휠(flywheel)을 사용한다. 이동접점에 장착된 접촉스프링(contact spring)은 접점간 압력을 유지할 수 있게 해주는데, 이것으로 인해 트리거에는 높은 잠김 하중이 걸리게 된다.

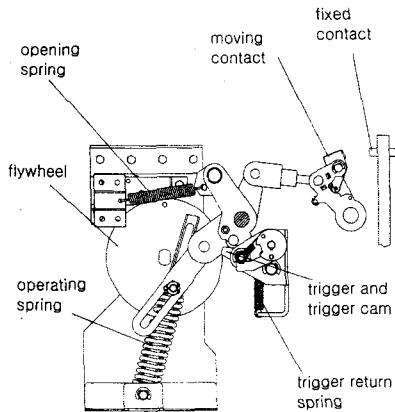


Fig.1 Mechanisms of PTB

2.2 실험계획

PTB의 조작을 위한 누름버튼(push button)의 행정은 8mm, 누름 하중은 10 Kg 정도가 적절하다고 가정한다. 변위 확대기구를 통하여 누름버튼과 연결된 트리거 해제 암(arm)의 행정은 15mm 이므로 적절한 트리거 해제력은 52N 정도

가 된다.

접점이 닫혀 있는 상태에서 접점간의 압력으로 트리거와 트리거 캠 사이에는 큰 하중이 걸리고 이로 인해 트리거 해제력이 커지게 된다. 트리거 접촉면의 법선이 회전축을 지나는 경우를 중립트리거(neutral trigger)라고 하고 마찰력에 의해 잠김 상태가 유지되는 경우를 임계트리거(hair trigger)라고 한다. 임계트리거의 경우는 트리거 해제력의 감소를 기대할 수 있으나 트리거가 잠기지 않는 경우도 생긴다. Fig. 2는 중립트리거와 임계트리거의 형상과 접촉각을 보여주고 있다.

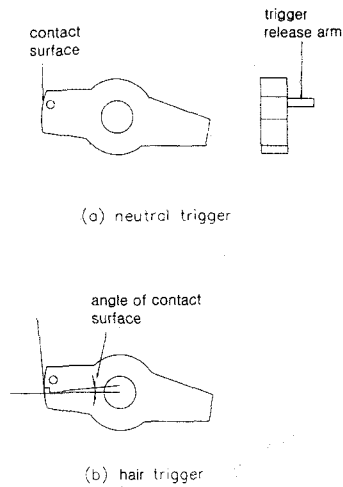


Fig.2 Neutral and hair triggers

트리거 캠 표면과 트리거 캠 회전축의 마찰은 트리거 해제력을 증가시키지만 트리거의 잠김 상태가 유지되도록 작용하기도 한다. 트리거 복귀 스프링은 트리거 캠에 복귀력을 제공하여 트리거가 잠길 수 있도록 한다. 복귀력이 커지면 트리거 해제력이 커지며, 너무 작으면 복귀 속도가 느려져 트리거가 잠기지 않을 수 있다.

이상의 논의에서 트리거 캠의 접촉각, 트리거 캠 회전축의 마찰계수, 트리거 캠 회전축의 마찰계수 그리고 복귀스프링의 복귀력 등 네 가지를 설계변수로 생각할 수 있다. 인장형 복귀스프링의 복귀력은 트리거가 걸려있는 상태에서의 예비하중(preload)으로 조절하기로 하였다.

Table 1. Control parameters for L9(3⁴)

symbol	parameter	level 1	level 2	level 3
A	trigger cam contact angle	0°	1°	2°
B	fiction coefficient of trigger cam	static: 0.003	static: 0.1	static: 0.3
	shaft	dynamic: 0.003	dynamic: 0.05	dynamic: 0.1
C	friction coefficient of trigger cam	static: 0.003	static: 0.1	static: 0.3
	surface	dynamic: 0.003	dynamic: 0.05	dynamic: 0.1
D	preload of trigger cam return spring	28N	20N	10N

이들 네 개의 변수를 제어변수로 하고 Table 1에 보인 것처럼 각 변수마다 세 개의 수준을 설정하였다[7]. 트리거 캠 접촉면과 회전축 마찰계수의 1수준은 니들베어링의 마찰계수로 설정하였고 2, 3수준의 값은 강철표면의 윤활 및 무윤활 상태에 대한 마찰 계수로 설정하였다. [8-9]

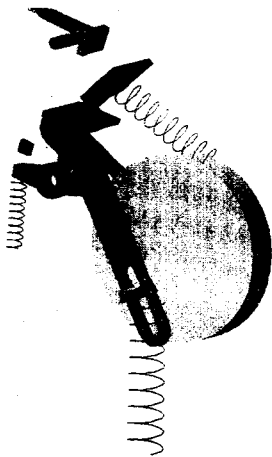


Fig.3 Dynamic analysis model of the trigger mechanism.

Fig. 3은 ADAMS를 사용한 트리거기구의 동역학 해석모델을 보여주는데, 트리거 걸림 여부와 해제력을 동시에 얻을 수 있도록 구성되었다.

이동접점이 고정접점에 접근하는 동안에 트리거 복귀스프링에 의해 트리거 캠(trigger)은 이동접점에 마련되어 있는 캠 중동부(cam follower)에 충돌하게 되고, 이 때 트리거의 미끄러짐 여부로 트리거의 걸림을 판단한다.

트리거 해제 시에는 해제 기구가 트리거 해제암과 접촉하여 트리거를 밀어내게 된다. 해제기구와 트리거 해제 암 사이의 반력을 구하여 해제력을 결정하였다.

3. 실험

3.1 1차 실험

Table 2는 앞에서 선정한 변수 조합에 대한 해석결과를 보여준다. 8번의 조합에 대해서는 트리거가 걸리지 않았는데, 이 경우에는 트리거가 미끄러지지 않도록 유지하는데 필요한 힘을 음수로 하여 결과 값으로 하였다.

Fig. 4는 네 가지 변수에 대한 평균치 분석 결과를 나타낸다. 트리거 접촉면 마찰계수와 트리거 캠 회전축의 마찰계수의 기여도가 지배적이고, 트리거의 마찰각과 복귀스프링의 예비하중은 상대적으로 기여도가 낮음을 알 수 있다.

Table 2 Orthogonal array with test results

Run	A	B	C	D	걸림 여부	해제력 (N)
1	1	1	1	1	○	95
2	1	2	2	2	○	314
3	1	3	3	3	○	637
4	2	1	2	3	○	204
5	2	2	3	1	○	473
6	2	3	1	2	○	347
7	3	1	3	2	○	211
8	3	2	1	3	×	-73
9	3	3	2	1	○	444

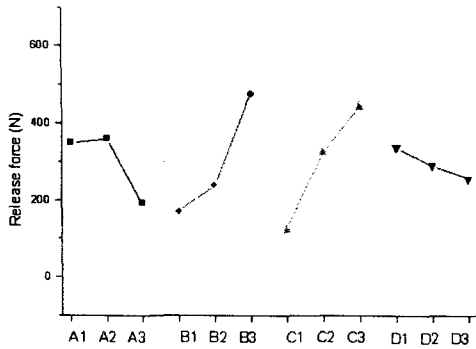


Fig. 4 Result of mean-value analysis

목표한 해제력 52N에 가장 가까운 값을 얻을 수 있는 변수의 조합은 접촉면의 각도를 2° 로 하고 트리거의 회전축에 베어링을 사용하고 트리거 캠의 접촉부의 마찰계수를 베어링 수준으로 유지하며 트리거 복귀 스프링에 10N의 예비하중을 부여하는 조건임을 알 수 있다.

그러나 이 조합으로 해석을 실시한 결과 트리거 캠이 잠기지 않았다. 차선의 변수 조합을 찾기 위해 2차 실험을 실시하였다.

3.2 2차 실험

Table. 3은 앞에서 2차 실험에 대한 조합과 해석결과를 보여준다. 2차 실험에서는 트리거 캠 접촉면과 트리거 캠 회전축의 마찰계수를 베어링을 사용한 경우로 고정하고 나머지 두개의 변수를 조합하여 해석을 했다. 두개의 변수에 각각 3개의 수준을 부여하여 총 9개의 해석을 실시하였으며 그 결과를 Table 3에 수록하였다.

4~9번 조합에 대한 해석에서는 트리거가 걸리지 않았다. 결국 1~3번 조합만 의미가 있으며 이 중 3번 조합에서 우리가 원하는 값에 가장 가까운 해제력을 얻을 수 있다. 즉, 중립의 트리거 캠 접촉각을 선택하고 트리거 중동부 및 트리거 캠 회전축에 베어링을 사용하며 트리거가 걸려 있는 상태에서의 복귀 스프링의 예비하중을 10N으로 설정하면 요구조건에 가장 가까운 설계를 얻을 수 있다.

Table 3 Orthogonal array with test results for the second experiment

Run	A	B	C	D	걸림 여부	해제력 (N)
1	1	1	1	1	○	95
2	1	1	1	2	○	85
3	1	1	1	3	○	59
4	2	1	1	1	×	-49
5	2	1	1	2	×	-57
6	2	1	1	3	×	-66
7	3	1	1	1	×	-130
8	3	1	1	2	×	-137
9	3	1	1	3	×	-148

4. 결론

PTB의 트리거 기구는 정확한 동력학적 작동특성과 신뢰성을 갖추어야 한다. 트리거 기구의 성능에 영향을 미치는 4개의 설계인자 조합에 대하여 다구찌 실험계획법을 적용하여 필요조건을 충족하는 설계 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- (1) Vladislav Y. Gushin et al, "Air Circuit Breaker" U.S. Patent No. 3873950, 1975
- (2) Toshihiko Kodera et al, "Air Circuit Breaker" U.S. Patent No. 4468533, 1984
- (3) Fred Bould et al, "Circuit Breaker Apparatus Including Jack Shaft Support" U.S. Patent No. 4163133, 1979
- (4) Ahn K. Y., Kang K. R., "Modeling and Analysis for a High Speed Cam-Follower Mechanism of Power Circuit Breaker" Asia-Pacific Vibration Conference '97, pp.55-59, November 9-13, 1997
- (5) 현소영, "다구찌 법을 이용한 정밀 프레스 구조의 성능향상에 대한 연구" 고려대학교 기

계공학과, December 2000

- (6) 차경준, 진정언, "다구찌 방법과 비제어인자를 이용한 흡기계의 저소음화 최적 설계", 품질경영학회지 제 28권 1호, 2000
- (7) Glen Stuart Peace, "Taguchi Methods" Addison-Wesley, 1993
- (8) Peter J. Blau et al, "Friction, Lubrication, and Wear Technology", ASM handbook volume 18, 1990
- (9) 조동진, "기계설계편람(하)", 대광서림