

배선용차단기 트립부의 동특성 해석기술 개발

강종성*, 백병산*, 곽철희**

현대중공업 기술개발본부 기계전기연구소*, 현대중공업 전기전자시스템사업본부**

Development of Numerical Analysis Technology on Dynamic Characteristics of Trip Units in MCCBs

Jong-Sung Kang*, Byung-San Baek*, Chul-Hee Kwak**

Hyundai Heavy Industries Co., Ltd R&D Division Electro-Mechanical Research Institute*,
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd Electro Electric Systems Division**

Abstract - 본 연구에서는 배선용차단기의 트립부 동작 신뢰성 향상과 트립부의 구조 최적화를 위하여 트립부 동작 특성을 정량적으로 예측할 수 있는 자계-동역학 연성해석기술을 연구하였다. 먼저 전류와 트립부 가동자 변위에 따라 가동자에 유기되는 전자기력을 예측할 수 있는 수식을 도출하였으며, 전자기력 수식과 가동자의 회전운동방정식을 시간에 따라 과도해석하여 가동자의 변위와 동작전류, 트립하중을 정량적으로 예측할 수 있는 트립부 동특성 해석기술을 개발하였다. 그리고 개발된 해석기술을 검증하기 위하여 양산 배선용차단기를 이용하여 트립실험을 실시하였으며 동작전류의 실험값과 해석값이 비교적 일치함을 확인하였다. 또한 본 연구에서는 개발된 해석기술의 활용성을 제고하기 위하여 윈도우즈 환경의 트립부 동특성 해석 프로그램을 개발하였으며, 이를 활용하여 트립부 설계변수별 동작 특성을 분석하였다.

고장전류는 시변값이고, 가동자가 회전운동함에 따라 전자기력 및 인장스프링력이 변하므로, 정자계해석을 이용하여 정확한 트립개시 전류 및 가동자와 래치가 충돌할 때의 트립하중을 예측하는 것은 어렵다. 즉 트립부의 정확한 특성을 파악하기 위해서는 트립부 가동자의 움직임과 전류 및 가동자 위치에 따라 변하는 전자기력 및 인장스프링력을 동시에 고려해야 한다.

2.2 트립부 동특성 해석기술

선로의 고장으로 발생하는 고장전류는 선로의 특성에 따라 결정되며, 일반적으로 DC성분을 포함한 정현파 고장전류가 흐르게 된다. 이러한 고장전류에 의하여 가동자에는 전자기력이 발생하고 초기 인장스프링력보다 전자기력이 크면 가동자는 회전운동을 시작하며 가동자가 회전운동함으로써 공극이 축소되고 스프링이 인장되어 전자기력 및 인장스프링력은 변하게 된다. 따라서 트립부 가동자 회전운동 지배방정식은 식 (1)와 같다.

$$I \cdot \alpha = \sum \tau \tag{1}$$

$$I \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \tau_m(\theta, i) - \tau_s(\theta) - \tau_f(\theta)$$

단, I : 관성모멘트, α : 각가속도, τ_m : 전자기토크,
 τ_s : 인장스프링토크, τ_f : 마찰토크, i : 전류, θ : 가동자 회전각도

식(1)에서 일반적으로 마찰토크 τ_f 는 무시할 수 있으며, 인장스프링토크 τ_s 는 회전각과 스프링 상수를 이용하여 알 수 있다. 전자기토크 τ_m 는 가동자와 고정자의 복잡한 형상과 자성체 재료의 비선형 특성으로 인하여 직접 수식을 도출하는 것은 어려우므로, 본 연구에서는 상용 정자계 해석 프로그램을 이용하여 가동자 전자기토크의 수식을 도출하였다. 즉 가동자 회전각 및 입력전류별 정자계해석을 수행하여 그림 2와 같이 회전각 및 전류별 전자기토크 행렬을 구하고 이를 이용하여 식 (2)와 같은 전자기토크 근사식을 도출하였다. 본 연구에서는 식 (1)과 도출된 전자기토크 수식을 적용하여 트립부 동특성 해석 프로그램을 개발하였다.

$$\tau_m = c_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 + a_4\theta^4 + a_5\theta^5 + b_1i + b_2i^2 + b_3i^3 + b_4i^4 + b_5i^5 \tag{2}$$

1. 서 론

배선용차단기는 저압계통의 대표적인 차단기로서, 차단부, 구동부 및 트립부로 구성된다. 트립부는 선로의 고장전류를 감지하여 구동부 래치(latch)를 푸는 부품으로서, 고장전류에 의한 전자기력을 이용하여 트립부 가동자(armature)를 움직이고 래치(latch)를 밀어 주어 차단동작을 수행한다.

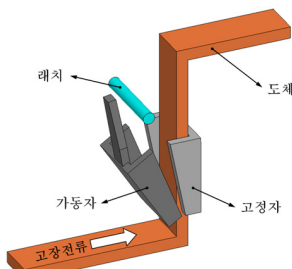
일반적으로 트립부는 정격전류의 6배 ~ 12배 고장전류에 동작해야 하며, 이때 가동자의 밀어주는 힘(트립하중)은 래치의 걸림하중보다 커야 한다. 또한 일정한 전자기력 이하에서는 트립부 가동자가 구동되지 않도록 가동자에는 구동방향과 역방향으로 인장스프링이 설치되어 있는데, 트립개시 전류와 트립하중을 고려하여 가동자 형상과 인장스프링력을 적절히 설계하여야 한다.

기존에는 설계된 트립부의 신뢰성을 검증하기 위하여 가동자의 초기 위치에서 정자계해석을 수행하였으나 이는 가동자의 회전운동과 인장스프링력 변동을 고려하지 않으므로 정확한 트립개시 전류와 가동자 트립하중을 파악하는 것이 어려웠다. 본 연구에서는 설계된 트립부의 신뢰성을 검증하고 트립부 최적 설계를 위하여 가동자 동특성을 과도적으로 연성해석할 수 있는 해석기술을 개발하고 주요 설계변수의 변동에 따른 트립부 특성변화를 분석하며, 단락전류에 의한 트립하중을 분석코자 하였다.

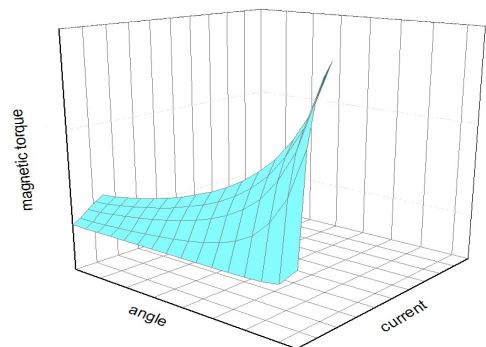
2. 본 론

2.1 배선용차단기 트립부 동작원리

그림 1은 일반적인 트립부 형상으로서, 고장전류에 의해 가동자와 고정자 사이에 발생하는 흡입 전자기력이 가동자를 시계방향으로 회전운동시키고 가동자 상부가 구동부 래치를 밀어 주게 된다. 또한 가동자에는 회전방향과 역방향으로 인장스프링이 설치되어 임의의 고장전류(=전자기력) 이하에서는 가동자가 움직이지 않으며, 가동자가 시계방향으로 회전운동함에 따라 인장스프링력도 커지게 된다.



〈그림 1〉 트립부 구조

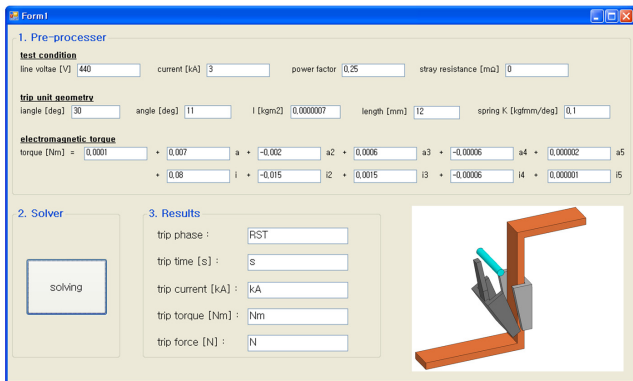


〈그림 2〉 가동자 전자기토크

2.3 트립부 동특성 해석 프로그램 개발

그림 3은 본 연구에서 개발된 트립부 동특성 해석 프로그램의 초기 화면으로서, 사용 편의성을 위하여 윈도우즈 환경에서 제작되었다. 프로그

램에 시험조건과 트립부의 특성값을 입력하고, 상용 전자기해석 프로그램으로 도출한 전자기토크 수식을 입력하면 트립여부 및 트립시간, 트립시 전류값, 가동자와 래치가 서로 닿는 순간의 트립하중을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 개발된 프로그램은 시간에 대한 전압, 전류, 가동자의 변위(각도), 전자기토크, 인장스프링토크를 Ascii 파일로 생성하여 시간별 트립부 동특성 예측을 용이하게 해 준다.



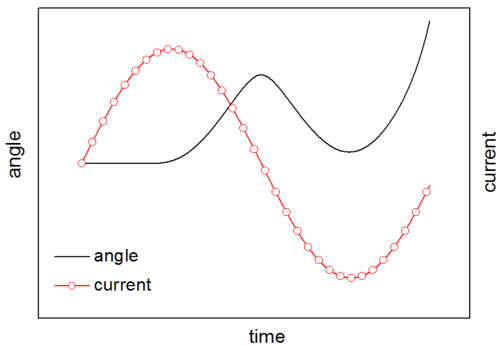
〈그림 3〉 트립부 동특성 해석 프로그램 초기화면

본 연구에서는 개발된 프로그램의 정확도를 검증하기 위하여 상용 배선용차단기를 이용하여 트립실험을 실시하고 이를 해석값과 비교해 보았다. 표 1은 트립전류에 대한 해석값과 실험값을 서로 비교한 표로서, 해석값이 실험값과 잘 일치함을 알 수 있다.

〈표 1〉 해석 프로그램 정확도 검증

| | 해석값 [p.u.] | 실험값[p.u.] |
|------|------------|-----------|
| 트립전류 | 1 | 0.99 |

그림 4는 시간에 대한 전류값과 가동자 변위(=각도)를 보여준다. 초기에는 전류에 의한 전자기토크가 인장스프링토크보다 작아서 가동자가 움직이지 않는 것을 알 수 있으며, 전류가 상승함에 따라 전자기토크가 증대하여 가동자가 움직이는 것을 알 수 있다. 또한 정현파인 전류가 감소함으로써 전자기토크도 감소하여 가동자가 역방향으로 복귀하는 것을 알 수 있다. 첫 번째 전류 최대치 시점과 첫 번째 가동자 변위 최대 시점이 서로 상이함을 알 수 있는데, 이는 가동자와 고정자 사이의 공극이 감소하여 작은 전류값에도 큰 전자기토크가 발생하여 가동자를 구동시키기 때문이다.



〈그림 4〉 동특성 해석 결과

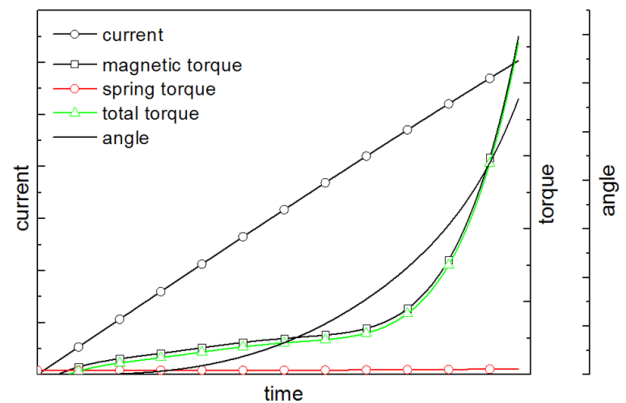
2.4 트립부 동특성 해석 프로그램 활용

본 연구에서는 개발된 프로그램을 활용하여 트립부 주요 설계요소 변경에 따른 트립시간과 트립토크 혹은 트립하중의 변화를 살펴보았다. 표 2는 가동자의 관성 모멘트와 인장스프링 상수를 변경함에 따른 트립부 동작특성 변화를 살펴본 표이다. 관성모멘트 및 스프링 상수를 각각 10%씩 작게 함에 따라, 트립시간이 단축되고 트립토크 혹은 트립하중이 증대함을 알 수 있었으며, 관성 모멘트에 비하여 스프링 상수가 상대적으로 트립부 동특성에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

〈표 2〉 관성 모멘트 및 스프링 상수 감소에 따른 트립부 동특성

| | 트립시간 [p.u.] | 트립전류 [p.u.] | 트립토크 [p.u.] | 트립하중 [p.u.] |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 기존 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 관성 모멘트 10% 감소 | 0.95 | 1.37 | 1.24 | 1.25 |
| 스프링 상수 10% 감소 | 0.89 | 1.79 | 1.57 | 1.56 |

그림 5는 단락전류에 의한 트립부의 동특성 해석 결과이다. 단락전류에 의한 전자기토크는 매우 커서 가동자와 래치의 충돌에 의하여 래치 부품이 파손될 수 있으므로 단락전류에 의한 가동자의 트립토크 혹은 트립하중을 설계시 고려해야 한다. 표 3은 과전류 및 단락전류에 의한 트립부 특성을 비교한 표로서, 단락전류에 의하여 약 36배의 트립하중이 래치에 전달되는 것을 알 수 있다.



〈그림 5〉 단락전류에 의한 트립부 동특성

〈표 3〉 단락전류에 의한 트립부 동특성

| | 트립시간 [p.u.] | 트립전류 [p.u.] | 트립토크 [p.u.] | 트립하중 [p.u.] |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 과전류(In×12) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 단락전류 | 0.16 | 39.11 | 35.91 | 35.97 |

3. 결 론

본 연구에서는 배선용차단기 트립부의 성능을 예측할 수 있는 동특성 해석기술과 프로그램을 개발하였다. 이를 위하여 전류에 의한 가동자 흡입력과 가동자 회전운동에 의한 인장스프링력을 고려한 연성해석 기술을 개발하였으며, 사용의 편리성을 위하여 윈도우즈 환경의 해석 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 트립부의 트립시간, 트립전류, 트립하중을 정밀하게 예측할 수 있어, 트립부의 동작 성능을 정량적으로 평가할 수 있다. 또한 본 연구에서는 개발된 프로그램을 활용하여 주요 설계요소별 트립부 성능 변화를 분석하였으며 래치의 구조강도 설계를 위하여 단락전류에 의한 트립하중을 분석하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Xingwen Li와 4명, "Analysis of the Interruption Process of Molded Case Circuit Breakers", IEEE Trans. on Components and Packaging Technologies, vol. 30, no. 3, September 2002
- [2] Hartwig Stammberger와 3명, "Simulation of the temporal behavior of circuit breakers and motor starters", 50th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, September 2004