

Rotor에 대한 Cu-bar 압입시 응력분포에 대한 연구

박상철*, 김현수*

A Study on the Stress Distribution in Rotor Core inserted with Cu bar

S.C. Park, H.S. Kim

Abstract

In this study, main works are focused on investigating the stress distribution at the interface between a rotor core and Cu bar when a punch is applied into the body of Cu bar. A parametric study with dimensional changes of core slot was performed numerically to identify what factors are dominant in producing high contact forces in the interface. As analysis results, it was found that core slot length was a dominant factor in increasing contact force at the interface between a rotor core and Cu bar.

Key Words : Rotor core, Cu bar, Plastic analysis, Contact force, Interface, Core slot design

1. 서론

회전자는 산업체에서 널리 사용되고 있는 유도전동기의 중요한 요소부품으로서 이의 제작을 위해서는 고도의 설계 및 생산기술이 요구되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 회전자를 제작하는 과정에서 적용되고 있는 생산기술을 적정화하기 위하여 회전자의 주요 부품인 rotor core에 대하여 제작기술을 평가하였다. 즉, rotor core slot 내부에 Cu bar를 삽입한 후 bar 표면을 펀치로 일정한 깊이만큼 압입하여 bar를 core slot에 고정하는 작업을 하는 경우에, core slot과 Cu bar 접촉면에 발생하는 contact force에 대하여 평가하였다. 펀치 압입시 core slot과 bar 접촉면에 작용하는 응력상태를 평가하기 위하여 수치해석적인 방법을 사용하여 rotor core slot 크기 변화에 따른 parametric study를 수행하였다.

2. 본론

2.1 회전자 제작과정

제작중인 회전자의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. 이러한 회전자는 얇은 rotor core를 일정한 높이만큼 적층한 후 shaft를 rotor core 중심에, Cu bar를 core slot에 삽입한 후에 bar를 내부에 고정시키기 위하여 펀치로 bar 표면에서 내부로 일정한 깊이만큼 압입을 하여 제작하고 있다. 이러한 펀치 압입작업은 bar 길이방향으로 먼저 작업을 하고 그 다음에 원주방향으로 순차적으로 실행하고 있다. 이러한 압입작업시 core slot과 bar 접촉면에 작용하는 force를 평가하기 위하여 수치해석을 수행하였으며 또한 사용된 재료특성은 Table 1에 나타내었다.

* 현대중공업(주) 기술개발본부 산업기술연구소

2.2 단순화 해석모델 선정

순차적으로 이루어지고 있는 압입작업에 대하여 수치 해석을 수행하기 위하여 여러 가지 가정과 preliminary study를 통하여 단순화된 해석모델을 개발하였다. 우선 rotor 양쪽 끝단면이 길이방향으로 변위가 구속되고 있으므로 plane strain 조건으로 가정하였고, 압입순서에 따른 응력변화의 영향을 평가하기 위하여 Fig. 2에 나타난 1/4 model을 채용하였다. 전체의 1/4인 model에 대하여 punch를 Cu bar A, B, C로 순차적으로 이동하면서 3mm만큼 압하하고 제어하는 경우에 core slot과 Cu bar 접촉면에 작용하는 contact force 분포를 수치적으로 평가하였다. 위와 같은 경우에 대해 bar A 측면에 작용하는 tangential contact force를 Fig. 3에 나타내었으며, 그 결과 bar A에 작용하는 contact force는 바로 인접한 bar B를 압입하는 경우에 대해서 영향을 받고 더 떨어진 bar C를 압입하는 경우에 대해서는 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있었다. 이러한 해석결과로부터 Fig. 4에 나타난 단순화 해석모델을 개발하였으며, 이러한 해석모델을 사용하여 Table 2에 나타난 6가지 case에 대하여 core slot 형상에 따른 parametric study를 수행하였다.

3. 해석 결과

여러 가지 parametric study 결과 중에서 대표적인 것을 Fig. 5(a),(b),(c)에 나타내었다. 펀치를 표면에서 3mm까지 압입한 후 제거했을 때 Cu bar 측면에 작용하는 tangential, radial contact force를 평가하였으며 case 1에 대하여 tangential force를 Fig. 5(a)에, case 3에 대하여 Fig. 5(b)에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 압입깊이 1mm, 2mm에서 contact force는 모두 비슷한 경향을 나타내나 압입깊이 3mm에서는 다른 경향을 나타내었다. Case 1에서 압입깊이 3mm에서 contact force 분포는 감소하는데 반해 case 3은 contact force가 조금 증가하는 경향을 나타내었다. Case 1, 2, 3에서 bar의 단면적은 동일하므로 case 1에서 bar 길이가 길어지면 폭이 감소하여 압입이 진행됨에 따라 소성변형이 bar 중심부에서 bar 하부 접촉면까지 쉽게 전달되어 초기에 contact force가 크게 발생하는 반면에, bar 길이가 짧은 case 3에서는 상대적으로 폭이 증가함으로써 압입이 진행됨에 따라 소성변형이 늦게까지 발생하여 case 1보다 절대적인 contact force 값이 크게 작용함을 알 수 있다. 즉 core slot과 접촉하는 Cu bar의 길이(b)가 증가할수록 작용하는 contact force가 상대적으로 작고 넓게 분포

하며 압입이 3mm가 되면 접촉면에서의 절대적인 contact force 값은 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

Fig. 5(c)에 일정한 압입깊이에서 접촉면 전체에 작용하는 contact force를 합한 total contact tangential force를 압입깊이에 따라 plot하였다. Fig. 5(c)에서 보면 case 1의 total contact force는 심한 변화를 보여주고 있는 반면에 case 3의 total contact force는 점진적인 증가와 감소의 분포를 보여주고 있으며 이러한 경향은 case 4의 total contact force와 case 6의 total contact force도 동일한 경향을 나타내었다.

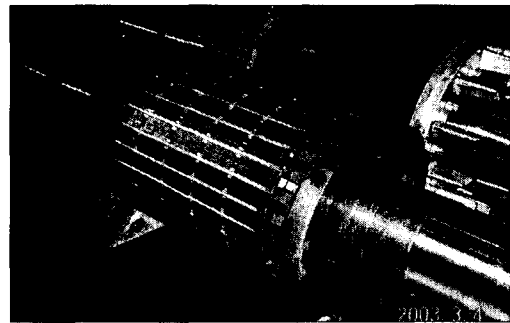


Fig. 1 Schematic of rotor core inserted with Cu bar

Table 1 Mechanical properties of materials

Material	Yield strength (kgf/mm^2)	Tensile strength (kgf/mm^2)	Elongation (%)
SS23	26.9	39.9	37.0
Cu bar	26.1	27.0	39.5

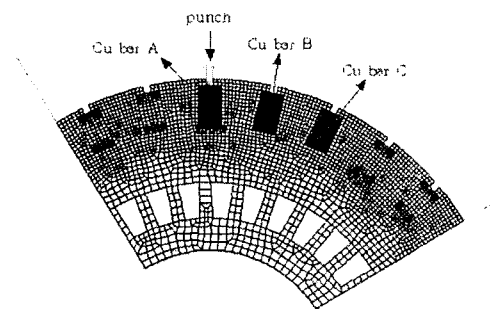


Fig. 2 1/4 model of rotor core

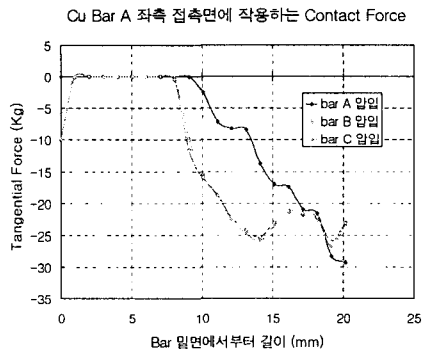


Fig. 3 Tangential contact force distribution along the distance from the bottom of Cu bar A

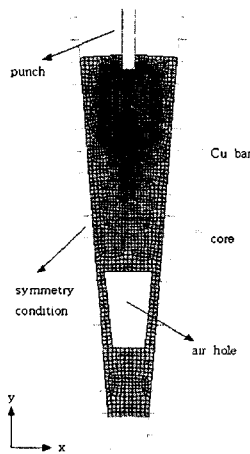


Fig. 4 Simplified analysis model for parametric study

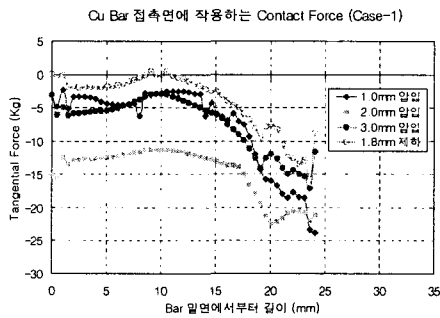


Fig. 5(a) Tangential contact force distribution along the distance from the bottom of Cu bar (case 1)

Table 2 Analysis case of rotor core (unit:mm)

		case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
core model	θ	12.85	12.85	12.85	9.0	9.0	9.0
	a	10.26	12.2	15.03	7.18	8.54	10.52
core slot size	b	25.2	21.2	17.2	25.2	21.2	17.2
	c	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	d	3.36	4.0	4.93	2.35	2.8	3.45
Cu bar size	a	10.16	12.1	14.93	7.08	8.44	10.42
	b	25.15	21.15	17.15	25.15	21.15	17.15
punch size	D	3.16	3.8	4.73	2.15	2.6	3.25
	r	1.58	1.9	2.36	1.07	1.3	1.62

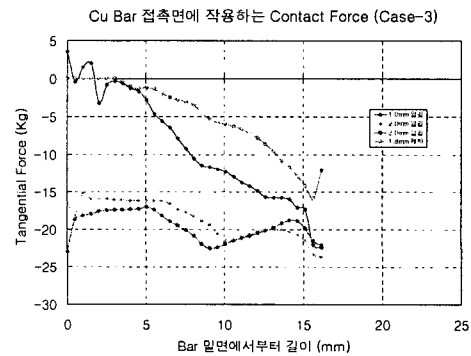


Fig. 5(b) Tangential contact force distribution along the distance from the bottom of Cu bar (case 3)

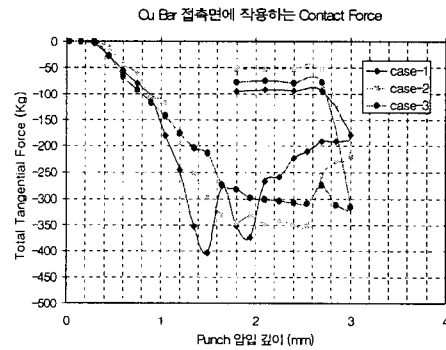


Fig. 5(c) Total tangential contact force distribution along the distance from the bottom of Cu bar (case 1 - case 3)

4. 결 론

위의 해석 결과로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 순차적인 압입작업의 특성을 고려해 볼 때 core slot과 Cu bar 접촉면에 작용하는 응력은 인접한 core slot의 bar에 대한 punch 압입작업에 의하여 약 25% 정

도 증가한다.

(2) Cu bar의 접촉면에 작용하는 contact force는 일정한 압입깊이 이후에는 압입깊이에 상관없이 일정한 값을 나타내었다.

(3) Cu bar의 접촉면에 작용하는 contact force를 증가시키기 위해서는 core slot 길이를 길게 하는 것이 필요하다.