

유도전동기 회전자 금형주조 시 품질평가 II

박상철
거제대학교 조선해양공학과

Quality Evaluations of Induction Motor Rotors during Die Casting Process II

Sang-Chul Park
Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Koje College

요약 본 연구는 소형 유도전동기 회전자를 생산공장에서 금형주조(die casting)로 제작 시 발생하는 cast 부 품질문제를 개선하기 위하여 수행되었다. 1차 연구결과와 현장 적용성을 고려한 수많은 parametric study를 통하여 새로운 rotor core cast model을 제안하였으며, 그 제안된 model에 대한 유효성을 평가, 검증하기 위하여 주조해석 전용프로그램을 사용한 수치해석과 실제제품에 대한 현장실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 유도전동기 회전자의 새로운 cast model에 대한 충전해석을 수행한 결과 용탕은 하부 end ring 부를 먼저 충전하고 이동하여 상부 end ring, core slot 부분을 충전하고 최종적으로 core slot 부분에서 충진이 완료된다. 둘째, 새롭게 제안된 rotor core cast model에 대한 용탕의 유동 양상을 보면 하부 end ring 부에 용탕의 유동에 의한 와류가 적게 발생하였으며, 현장 실험 결과 하부 end ring 부 단면에서 소량의 작은 결함만이 발견되었다. 셋째, 유도전동기 회전자 제작 시 rotor core cast 형상 변경을 통하여 end ring 부 결함 발생 면적이 약 70 % 감소한 양호한 품질의 회전자를 생산할 수 있다.

Abstract This study focused on improving the cast quality of small-sized induction motor rotors during the die casting process. A new rotor core cast model was proposed based on previous research results and parametric studies. Numerical analyses using 3-dimensional half models were performed to evaluate the filling patterns of aluminum molten metals into a mold and on-site experiment performed to verify the newly proposed cast model. The following were obtained from numerical filling analyses and experimental results. First, molten metals started to fill the lower end ring, then moved on to fill the core slot and upper end ring and finally stopped to fill at the rotor core slot. Second, significant circulation of molten metals was not observed on the lower end ring, resulting in fewer defects at the section of the lower end ring from the experimental results. Third, the new shape of a rotor core cast was effective in producing rotors with sound cast quality, and reducing the end ring cast defect area by approximately 70 %.

Keywords : Die Casting, Induction Motor, Rotor, Rotor Core, Aluminum Cast, Numerical Analysis

1. 서론

산업체 설비에서 회전자의 회전운동에 의하여 기계동력을 발생시키는 전동기(motor)에는 교류전원을 직접

받아 회전하는 교류전동기가 있다. 교류전동기는 구조에 따라 크게 유도전동기와 동기전동기로 나뉘며, 동기전동기는 다시 영구자석 동기전동기와 비영구자석 동기전동기로 나눌 수 있다. 산업현장에서는 유도전동기가 효율이

*Corresponding Author : Sang-Chul Park(Koje College)

email: scpark@koje.ac.kr

Received April 8, 2019

Accepted July 5, 2019

Revised June 5, 2019

Published July 31, 2019

동기전동기에 비해 다소 낮지만 구동성, 내구성, 안전성 및 시스템 가격 등에서 유리한 점이 많아 널리 사용되고 있다. 유도전동기는 회전자(rotor)의 구조에 따라 농형과 권선형으로 나뉘며 최근에는 가격과 구조, 보수 필요성, 기동장치 등에서 유리한 농형유도전동기가 널리 사용되고 있다. 이러한 농형유도전동기는 농형회전자의 용량 및 사용목적에 따라 그 종류가 매우 다양하며, 제작은 일반적으로 대량생산이 가능하고 생산성이 높다고 알려진 고압 알루미늄 금형주조(die casting)법으로 생산되고 있다[1].

본 연구에 선행된 1차 연구결과에서 언급한 바와 같이 소형 유도전동기 회전자는 현재 공장에서 측면에서 용탕을 주입하는 금형주조 작업으로 제작되고 있는데 품질관리부로부터 cast 부 품질에 문제가 있다고 보고되고 있으며, 이러한 사실은 현장 작업조건을 사용한 수치해석 결과와 실제품에 대한 현장실험을 통하여 확인할 수 있었다[2]. 본 2차 연구에서는 1차 연구결과를 바탕으로 유도전동기 회전자 제작시 제안된 cast model에 대하여 해석적인 방법과 실험적인 방법을 사용하여 rotor end ring 부의 품질을 평가함으로써 건전한 cast 품질을 얻을 수 있는 대안을 제시하고자 하였다[3-5].

2. 본론

2.1 금형주조 작업

본 연구에 사용된 유도전동기 회전자는 Fig. 1에 나타난 두께 0.5 mm, 반경 101.57 mm, core slot이 38개인 SS23 강판(Table 1 참조) rotor core를 일정한 높이까지 쌓은 후 축(shaft)을 core 내부 hole에 삽입, 고정시킨 다음 Fig. 2와 같은 고압의 수평 금형주조 작업으로 생산되고 있다. 금형주조 장비는 크게 고정 die, 이동 die 그리고 Fig. 3과 같이 상, 하부에 설치되는 end ring die로 구성되어 있다. 금형주조 작업은 shot sleeve에 연결된 plunger를 고속 이동시켜 sleeve 내부에 있는 알루미늄 용탕을 rotor core slot 내부로 사출 시킴으로써 이루어진다. 이때 분출된 용탕은 측면 입구를 통해 수직방향으로 이동하여 하부 end ring를 먼저 충전하고 rotor core slot, 상부 end ring를 순차적으로 충전함으로써 회전자가 제작 완료되는 것이다.

Table 1. Chemical compositions of rotor core(wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
SS23	0.02	1.13	0.4	0.025	0.008	0.02	0.03	0.01

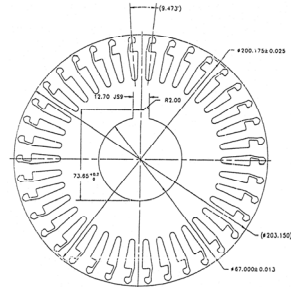


Fig. 1. Configuration of rotor core



Fig. 2. Die casting equipment



Fig. 3. End ring die

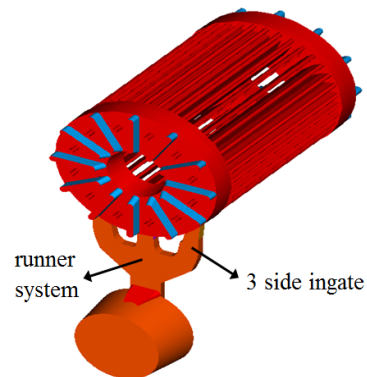


Fig. 4. Configuration of rotor core cast

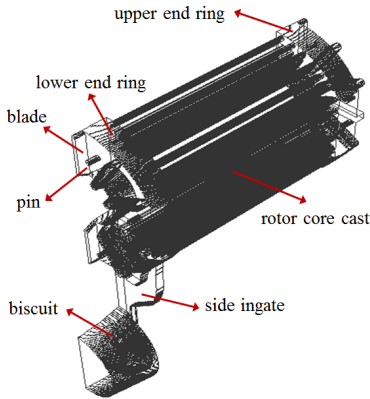


Fig. 5. Numerical analysis model of rotor core cast

2.2 유동해석

본 연구에서는 1차 연구결과를 바탕으로 이론적인 변수보다는 생산현장에 관련된 변수를 중점적으로 고려하여 parametric study와 현장실험을 수행하였다. 그 결과 사출속도, 온도 등 금형주조 조건을 변경한 경우에 충전해석과 현장실험에서 기존 1차 연구결과와 차이를 발견하지 못하였다. 그러나 수많은 해석과 실험, 여러 번의 시행착오를 통하여 end ring 부에 충전되는 용탕의 양을 줄이고 흐름을 변경시키면 cast 부 품질을 향상시킬 수 있다는 사실을 발견하게 되었다. 따라서 기존 rotor core cast model을 설계부와의 협의를 통하여 cast 양을 줄이고 충전 흐름을 변경하기 위하여 기존 상, 하부 end ring 부에 있는 각각 12개의 blade, pin 개수는 동일하게 유지하는 대신에 회전자의 고속회전 시 균형, 전기전도도 및 현장 적용성 등을 고려하여 52.37 mm blade 높이를 pin 높이와 같은 12.7 mm로 줄인 새로운 cast model로 변경하였다. 이렇게 변경된 cast model에 탕도 시스템, 3개의 주입구가 포함된 알루미늄 cast만의 형상을 Fig. 4에 나타내었다.

이렇게 변경된 형상에 대하여 금형주조 시 용탕이 사출된 후 상, 하부 end ring, rotor core slot에 발생하는 용탕의 유동 및 충전 양상을 유한체적법 기반의 주조해석 전용프로그램인 AnyCasting을 사용하여 평가하였다 [6]. Cast 형상에 대한 수치해석 모델은 측면 주입구의 형상, 주입구 위치, rotor core의 slot 개수 및 형상 등 대칭조건과 경계조건, 계산시간 등을 고려하여 half model을 채용하였으며 그 형상을 Fig. 5에 나타내었다. 수치해석 시 전체 cast model을 감싸고 있는 mould는 경계조건에서 가상 die로 설정하였으며, 해석에 사용된

전체 요소 개수는 약 16,000,000개, 유동해석 조건은 금형 재질 SKD 61, 주형 예열온도 200 °C, rotor core 초기온도 25 °C, cast 주입온도 680 °C 이다.

2.3 해석결과

본 연구에 사용된 현장 작업조건은 1차 연구에서 사용된 조건과 동일하며, 알루미늄 용탕이 사출되어 core slot 내부로 충전되는 양상을 평가하여 그 결과를 Fig. 6.(a)~(d)에 나타내었다.

그림과 같이 일정한 충전물에서 용탕의 충전양상은 1차 연구결과와 비교하여 유사함을 알 수 있다. 사출된 용탕은 먼저 하부 end ring 부, 하부 blade를 충전하기 시작하여 충전률이 20 %에 도달하면 하부 end ring, 하부 blade는 충전이 완료되며, 충전률이 40 %에 다다르면 용탕은 core slot를 지속적으로 충전하는 한편 상부 end ring 부도 충전하기 시작하고 충전률이 60 %에 이르면 상부 end ring의 blade 대부분을 충전하게 된다.

이러한 전체적인 충전 양상에서 rotor core slot, end ring, blade에서의 용탕의 흐름을 세밀하게 관찰하여 cast 부 품질상태를 예측하기 위하여 section-1, section-2, section-3 단면(Fig. 7 참조)에서의 충전률에 따른 용탕의 유동 변화를 평가하였으며 그 결과를 Fig. 8~10에 나타내었다.

Fig. 8에 나타난 section-1에서의 용탕의 유동 양상을 살펴보면, 1차 연구결과에서는 상대적으로 큰 blade로 인하여 하부 end ring 부분에 용탕의 와류가 지속적으로 발생, 유지되어 용탕 내부에서 기포 포집이 이루어지는 데 반하여 새로운 cast model에서는 용탕이 충전해야 할 하부 end ring 부 체적이 상대적으로 작고 공간이 좁으므로 용탕의 유동이 제한되어 큰 와류가 형성되지 않으며, 충전이 진행되면서 용탕이 die 내부 공기를 앞으로 밀어내는 사실을 알 수 있다. 또한 충전이 60 %가 되는 시점에서는 하부 end ring 부에 더 이상 기포가 존재하지 않음을 알 수 있으며 이러한 사실은 기포가 발생하여 유지되는 시간이 상대적으로 짧음으로 인하여 end ring 부에 기포가 포집이 덜되어 결과적으로 냉각 후 다수의 기공이 존재하게 될 가능성이 낮다는 사실을 추론할 수 있다.

Section-2 단면에서의 용탕의 유동 양상은 전체적으로 section-1에서의 유동 양상과 유사한 형태를 보여주고 있으며 Fig. 9에 나타내었다. 그러나 1차 연구결과에서는 하부 end ring 부에 와류가 발생하여 기포가 end

ring 부에 한동안 존재하게 된다는 사실을 알 수 있었으나 새로운 cast model에서는 45 % 충전에서 기포가 많이 없어진 것을 확인 할 수 있다. 따라서 하부 end ring 부분이 응고된 후 air trap에 의해 발생하는 기공이 상대적으로 적게 발생할 것이라는 사실을 예측할 수 있다. 반면에 다른 부분에서는 모두 유사한 충전 양상을 나타내고 있다.

한편 Fig. 10에 나타낸 section-3 단면에서의 용탕의 유동 양상은 다른 단면에서의 유동 양상과 유사한 모습을 나타내었다. 용탕이 지속적으로 주입구를 통하여 mould 내부로 충전됨에 따라 30 % 충전률에서 하부 end ring 부는 충전이 완료되었으며, 다른 부분에서의 용탕의 유동 양상은 다른 단면에서의 결과와 유사한 모습을 나타낸다는 사실을 알 수 있다[7-8].

지금까지 새롭게 제안된 rotor core cast model에 대하여 수치해석적인 방법을 사용하여 용탕의 유동 양상을 평가하여 cast 부 품질을 예측하였으며, 최종적으로 rotor core cast 품질 상태를 실험적으로 검증하기 위하여 현장에서 생산된 회전자 실제제품에 대하여 하부 end ring 부를 절단한 단면 모습을 Fig. 11에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 1차 연구결과에서의 단면 모습과 비교하여 단면에 큰 결함이 없고 작은 결함만이 존재하고 있음을 확인할 수 있으며, 결과적으로 충전되는 용탕의 양을 줄이고 용탕 흐름을 변경하기 위하여 제안된 rotor core cast model을 생산에 적용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

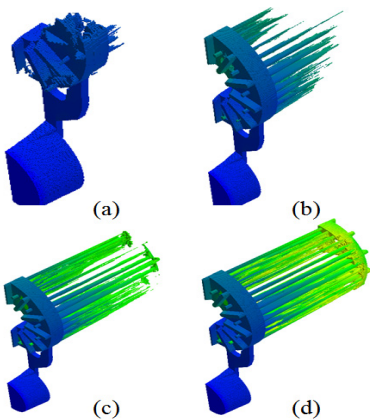


Fig. 6. Filling patterns of molten metals
(a) 10 % (b) 20 % (c) 40 % (d) 60 %

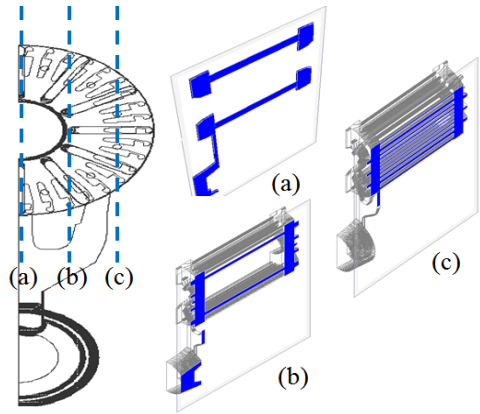


Fig. 7. Evaluation location of filling patterns
(a) Section-1 (b) Section-2 (c) Section-3

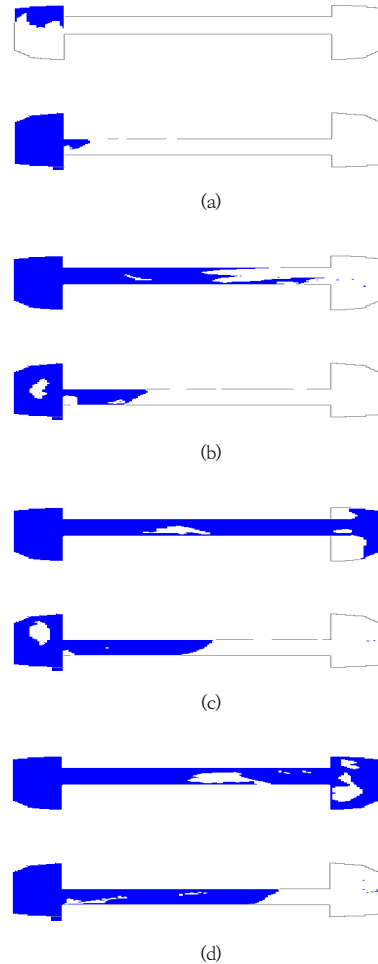


Fig. 8. Filling patterns of molten metals at section-1
(a) 15 % (b) 30 % (c) 45 % (d) 60 %

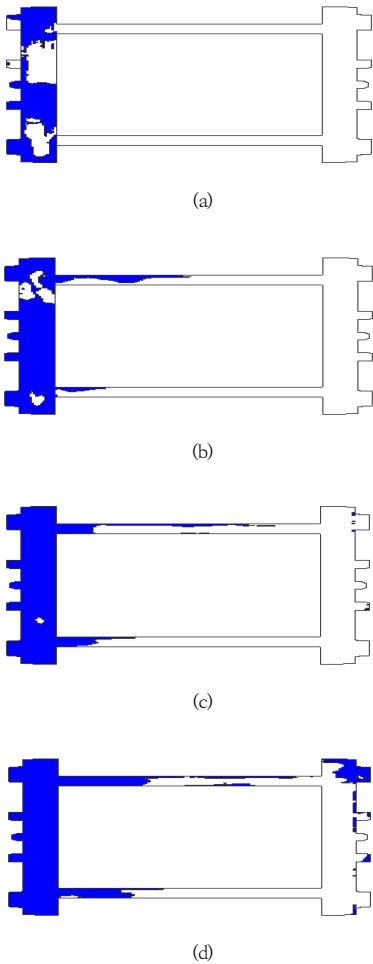


Fig. 9. Filling patterns of molten metals at section-2
(a) 15 % (b) 30 % (c) 45 % (d) 60 %

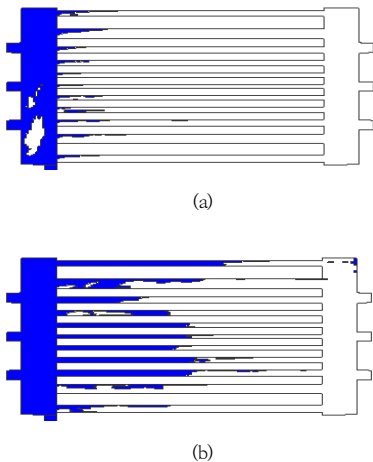


Fig. 10. Filling patterns of molten metals at section-3
(a) 15 % (b) 30 % (c) 45 % (d) 60 %



Fig. 11. Sectional view of lower end ring cast

3. 결론

본 연구는 유도전동기 회전자의 금형주조 시 cast 부 품질을 개선하기 위하여 수행하였으며, 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 새로운 rotor core cast model에 대하여 금형주조 시 충전해석을 수행한 결과 용탕은 하부 end ring 부를 먼저 충전하고 상부 end ring, core slot 부분을 충전하고 core slot 부분에서 충진이 완료된다.
- 2) 제안된 rotor core cast model에 대한 금형주조 시 용탕의 유동 양상을 보면 하부 end ring 부에서 용탕의 유동에 의한 와류가 상대적으로 적게 발생하였으며, 현장실험 결과 하부 end ring 부 단면

에서 소량의 작은 결함만이 발견되었다.

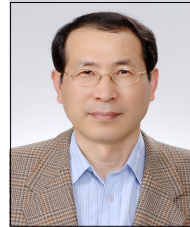
- 3) 유도전동기 회전자 제작 시 rotor core cast 형상 변경을 통하여 end ring 부 결함 발생 면적이 약 70 % 감소한 양호한 품질의 회전자를 생산할 수 있다.

References

- [1] John Campbell, "Complete Casting Handbook", Elsevier, UK, 2011.
- [2] S. C. Park, "Quality Evaluations of Induction Motor Rotors during Die Casting Process", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.19, No.10, pp.115-120, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.10.115>
- [3] R. T. Patil, V. S. Metri, S. S. Tambore, "Causes of Casting Defects with Remedies", International Journal of Engineering Research & Technology, Vol.4, No.11, pp.639-644, Nov. 2015.
- [4] R. Rajkolhe, J. G. Khan, "Defects, Causes and Their Remedies in Casting Process: A Review", International Journal of Research in Advent Technology, Vol.2, No.3, pp.375-383, 2014.
- [5] Y. C. Lee, J. S. Lee, "Conductivity-Filling Rate Analysis for Die-Casting Centrifugal Casting Machine", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.16, No.4, pp.2364-2369, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.4.2364>
- [6] AnyCasting Co., Ltd., version 1.1, 2006
- [7] K. S. Anastasiou, "Optimization of the aluminium die casting process based on the Taguchi method", Proc. IMechE, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol.216, pp.969-977, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1243/09544050260174175>
- [8] U. A. Dabade, R. C. Bhedasgaonkar, "Casting Defect Analysis using Design of Experiments (DoE) and Computer Aided Casting Simulation Technique", Procedia CIRP 7, pp.616-621, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.042>

박 상 철(Sang-Chul Park)

[정회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 조선해양공학과 (조선공학석사)
- 1998년 3월 : 오하이오주립대학교 용접공학과 (용접공학박사)
- 1987년 12월 ~ 2008년 8월 : 산업기술연구소 수석연구원
- 2008년 9월 ~ 현재 : 거제대학교 조선해양공학과 교수

<관심분야>

용접공학, 주·단조공학, 열탄소성 수치해석