

유도전동기 브라켓 제작시 품질평가

박상철*

¹거제대학교 조선해양공학과

Quality Evaluations of Induction Motors Bracket Castings during Fabrication Processes

Sang-Chul Park^{1*}

¹Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Koje College

요약 본 연구는 중형 유도전동기 신제품 개발 단계에서 브라켓 주조품 제작시 발생하는 품질문제를 미리 평가하기 위하여 수행한 것으로, 브라켓 주조품의 제작과정인 주조 및 기계가공시 용탕 충전 양상, 결합 발생, 잔류응력 및 변형 등 제품의 품질상태를 수치해석적인 방법을 사용하여 평가하였다. 평가 결과 최종 기계가공 후 브라켓 주조품에 발생하는 잔류응력은 -53~54MPa, 변형량은 최대 1.8mm로 크지 않으며 내부 품질관리 기준에 부합함을 알 수 있었다.

Abstract This study evaluated the residual stress and deformation for bracket castings of induction motors. Numerical analyses were performed to evaluate the residual stress distributions and displacements of bracket castings after the casting and final machining processes. Based on the analysis results, it was found that bracket casting was satisfied with the internal quality standards during the fabricating processes.

Key Words : Induction Motors, Bracket, Casting, Filling Process, Temperature Distributions, Residual Stress Distributions, Plastic Deformation, Machining, Displacements

1. 서론

일반적으로 교류 전류를 받아 기계 동력을 발생시키는 회전기를 교류전동기라 한다. 교류전동기는 크게 유도전동기와 동기전동기로 구별할 수 있는데, 유도전동기가 취급과 운전이 쉽고 값이 싸며 내구성이 좋아 가정이나 공장에서 많이 사용되므로 전동기라고 하면 대부분 유도전동기를 의미하는 경우가 많다. 또한 유도전동기는 전원의 상(phase) 수에 따라 단상 유도전동기와 3상 유도전동기로 나누며 3상 유도전동기는 회전자(rotor)의 구조에 따라 농형과 권선형 유도전동기로 분류한다. 한편 유도전동기에서 양 쪽 끝단에 위치한 브라켓(bracket)은 사형구조로 제작한 후 탕구, 탕도, 압탕을 제거하고 내부 축 구멍(shaft hole) 및 주물 표면을 기계가공하여 최종 제품으로 만들고 있다. 이러한 브라켓 주조품은 전동기의 프

레이미(frame), 회전자(rotor), 고정자(stator) 등과 같은 주요 부분품과 같이 조립공정을 통하여 완제품인 유도전동기로 생산되고 있으나 전동기 본체인 프레임과 조립시 정도 문제가 발생하고 있다고 보고되고 있다. 그 원인을 분석한 결과 최종 가공된 브라켓 주조품의 치수에 문제가 있는 것으로 밝혀졌으며 따라서 본 연구에서는 중형 유도전동기 신규모델을 개발함에 있어서 이러한 브라켓 주조품에 대하여 제작과정, 즉 주조 및 기계가공 작업에 따른 품질상태를 순차적으로 평가하고자 하였다.

2. 본론

2.1 유도전동기 형상

본 연구의 대상인 유도전동기는 여러 종류가 있으나

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

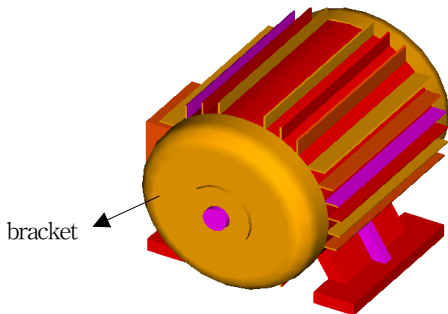
Tel: +82-10-8535-1397 email: scpark@koje.ac.kr

Received July 11, 2014

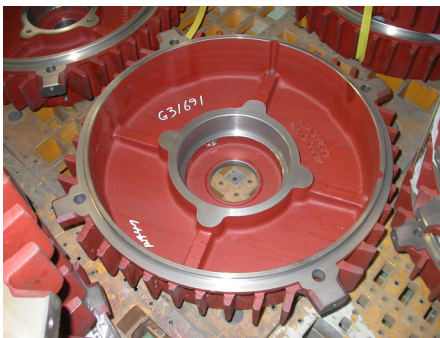
Revised August 21, 2014

Accepted September 11, 2014

수요가 많고 현재 신제품으로 개발하고 있는 중형 유도전동기로 선정하였으며 그 제품의 제작과정에 따른 품질 상태를 수치해석적인 방법을 사용하여 평가하였다. 평가에 사용된 브라켓 형상은 외경 500mm, 높이 154mm, 내부 돌출부 외경 220mm, 관통부 직경 76mm, 두께 8mm ~42mm로서 Fig. 1에 나타내었다.



(a)



(b)

[Fig. 1] Schematic of Induction Motor Bracket
(a) Induction Motor (b) Bracket Configuration

2.2 주조시 열전달 및 변형해석

2.2.1 주조해석

유도전동기의 브라켓은 사형주조로 상주법을 사용하여 주조하며 용탕 충전 속도는 13cm/sec, 충전 완료시간은 13.1초, 충전작업이 완료된 후 탕구, 탕도, 압탕, cavity 가 포함된 브라켓 주물 형상을 Fig. 2(a), 자세한 주조 작업조건은 Table 1에 나타내었다.

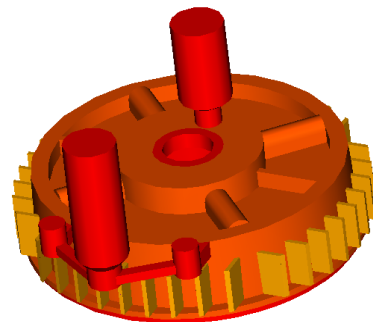
브라켓 주조시 용탕의 충전 양상 및 충전 완료시 브라켓 제품의 온도분포를 평가하기 위하여 주조해석 전용프로그램인 AnyCasting을 사용하여 주조해석을 수행하였다[1,2]. 주조품의 형상 및 주조공정을 고려하여 Fig. 2(b)와 같이 1/2 해석모델(약 6,750,000 cell)을

사용하였으며, 해석모델은 탕구, 탕도, 압탕, cavity를 포함하고 있으며 주형은 가상 주형으로 가정하였다.

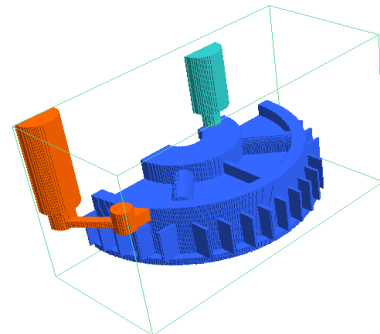
주조해석시 충전시 발생하는 cavity와 주형, 주형과 주변 대기와의 열전달을 고려하였으며, 해석결과로서 충전 완료 후 브라켓 주물 내, 외부의 온도 분포를 Fig. 2(c),(d)에 나타내었다. 용탕이 유입되는 탕구로부터 멀리 떨어진 곳부터 용탕이 먼저 충전, 냉각이 진행되므로 상대적으로 온도분포가 낮고 탕구에 가까운 부분이 비교적 높은 온도분포를 갖는다는 것을 알 수 있으며 또한 용탕이 하부에서 상부로 순차적으로 충전되면서 기공포집에 의한 결함이 발생할 가능성이 적다는 것을 확인할 수 있다.

[Table 1] Casting Conditions of Induction Motor Bracket

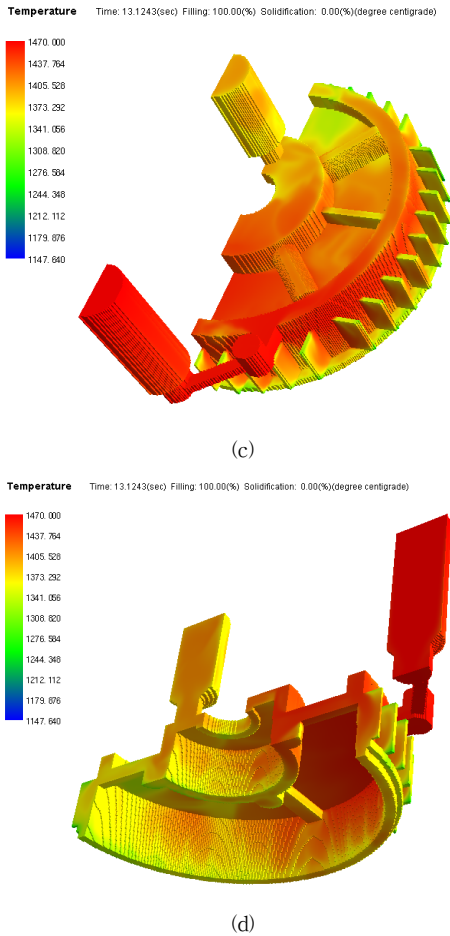
Melting Temp.	1500~1600℃
Pouring Temp.	1470±10℃
Pouring Time	10~14sec.
Mould Temp.	500℃
Shakeout Time	10~15min.
Casting	FC25
Pouring Weight	65kg
Product Weight	57kg
Mould	Silica Sand
Binder	Bentonite(5%)



(a)



(b)



[Fig. 2] Casting Analysis of Bracket Casting
 (a) Bracket Casting Configuration (b) Casting Analysis Model (c) Temperature Distributions at Outer Bracket Surface(°C) (d) Temperature Distributions at Inner Bracket Surface(°C)

2.2.2 열전달해석

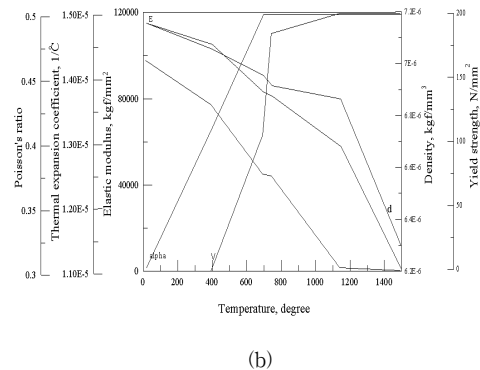
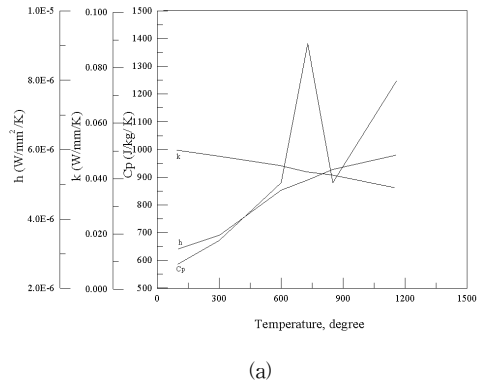
용탕은 브라켓 주형에 완전히 충전된 후 약 15분 동안 주형 내에서 응고 및 냉각 과정을 거친 후 주형을 제거하여 약 72시간의 공냉 과정을 거치게 되는데 이러한 경우에 브라켓 주조품의 냉각과정에 따른 온도분포 이력을 평가하기 위하여 열전달해석을 수행하였다[3]-[6].

수치해석에서 초기 경계조건으로 주조 해석에서 평가한 용탕의 충전 완료시 온도분포를 사용하였으며 열전달 해석은 범용 구조해석 전용프로그램인 ANSYS를 사용하였다[7].

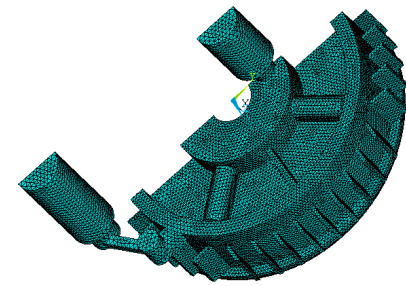
한편 해석에 사용된 브라켓 재료인 회주철 FC25의 온도에 따른 물리적, 기계적 성질은 Fig. 3.(a),(b)에 나타나

있으며[8], 브라켓 주조품의 유한요소 해석모델은 Fig. 4.(a)와 같이 약 104,000개 사면체 요소, 약 30,100 절점을 갖는 전체 주조품의 1/2 모델로서 해석시간을 줄이기 위하여 주형(mould)은 모델링하지 않고 cavity와 주형과의 열전달은 열대류 계수를 이용하여 해석을 수행하였다.

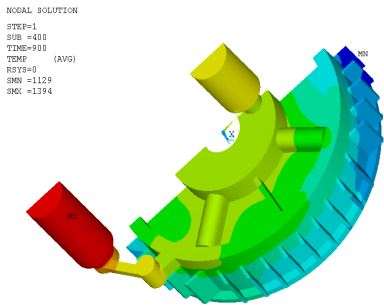
해석결과로 충전 완료 후 탈사시간인 15분이 경과한 경우에 브라켓 주조품의 온도분포를 Fig. 4.(b)에 나타내었다. 용탕이 주형 내에서 응고, 냉각이 진행되어 15분 경과시 주조품의 온도분포는 1129~1394°C이며, 탕구부가 당연히 높은 온도를 나타내고 충전이 먼저 이루어지는 하부 부위의 온도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 충전 완료 후 냉각이 3시간 50분 진행된 후 브라켓의 온도분포를 Fig. 4.(c)에 나타내었다. 시간이 점차 경과함에 따라 전체적으로 온도분포는 낮아져 348~657°C이나 상대적으로 표면적이 넓은 cavity 부위의 온도는 348~450°C로 비교적 낮게 나타나는 것을 알 수 있다.



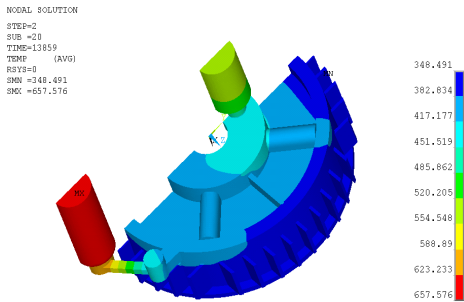
[Fig. 3] Mechanical Properties of Gray Cast Iron(FC25)
 (a) Thermal Conductivity, Heat Capacity, Convection Coefficients (b) Elastic Modulus, Thermal Expansion Coeff., Yield Strength



(a)



(b)



(c)

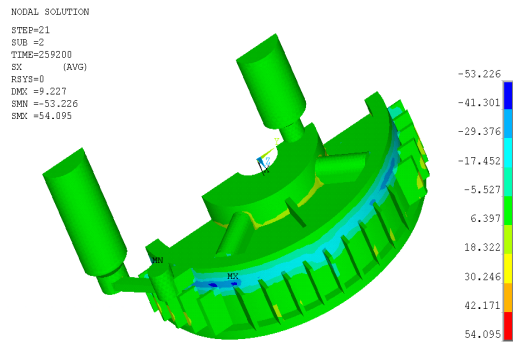
[Fig. 4] Temperature Distributions of Bracket Casting (a) Finite Element Analysis Model of Bracket Casting (b) Temperature Distributions (After 15 min., °C) (c) Temperature Distributions (After 3hr 50min., °C)

2.2.3 공냉 및 기계가공 후 변형해석

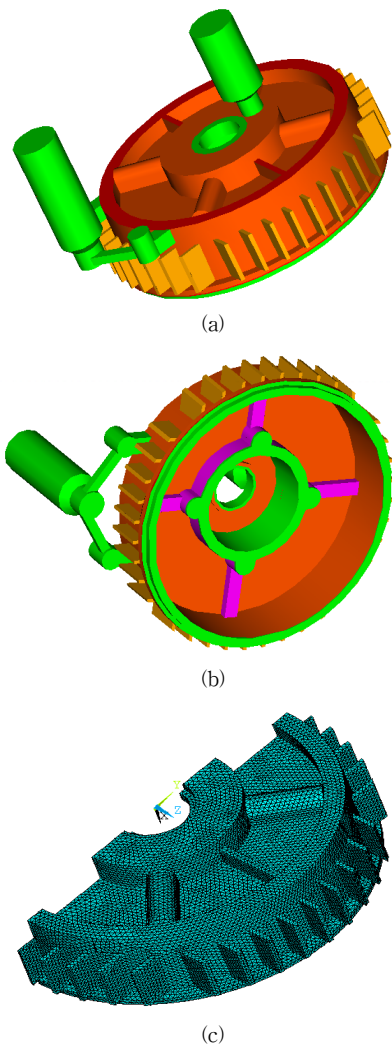
브라켓 주조품에는 냉각과정에서 발생하는 불균일한 온도분포에 의하여 국부적으로 소성변형이 발생하고 이에 따라 최종적으로 냉각이 완료되었을 때 브라켓에는 잔류응력과 변형이 발생하게 된다. 이러한 온도분포 이력에 의한 잔류응력과 변형 양상을 평가하기 위하여 해석모델의 절점 온도를 하중조건으로 하고 재료 비선형을

고려한 열응력, 변형해석을 수행하였으며[9], 해석모델은 열전달 해석시 사용된 모델을 그대로 사용하였다. 해석 결과로 72시간 공냉이 완료된 후 브라켓 주조품에 존재하는 잔류응력 중에 대표적인 x-방향 잔류응력분포를 Fig. 5에 나타내었다. 평가결과 잔류응력은 -53~54MPa 범위에 있으며 최대응력이 국부적이며 표면에 작용하고 크기가 크지 않기 때문에 주조품의 품질에 영향이 없을 것으로 생각된다.

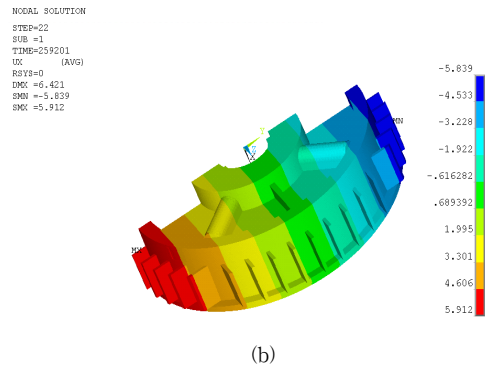
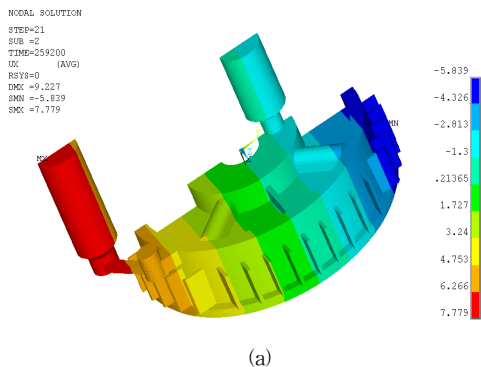
또한 냉각이 완료된 브라켓 주조품을 최종적으로 기계가공 하였을 경우에 발생하는 브라켓의 형상 변화를 수치해석적인 방법을 사용하여 평가하였다. 기계가공시 가공에 의하여 표면에 잔류응력이 추가적으로 발생하나 그 응력수준이 낮기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않았으며, 기계가공에 의하여 없어지는 부분에 존재하고 있던 잔류응력이 이완됨으로 인하여 주조품 내부에 발생하는 힘의 재평형에 의하여 야기되는 형상의 변화를 평가하였다. 기계가공에 의하여 제거되는 부분은 탕구, 탕도, 압탕, 내부 hole 및 표면으로서 Fig. 6(a),(b)에 연두색으로 나타내었으며, 기계가공 효과를 고려한 유한요소 해석모델은 Fig. 6(c)에 나타내었다. 해석결과로 최종 기계가공 전, 후에 발생하는 변형 양상을 평가한 결과 중에서 가장 큰 x-방향 변위를 Fig. 7(a),(b)에 나타내었다. 공냉이 완료된 후 기계가공 전 브라켓의 x-방향 변위는 -5.83~7.77mm 범위에 있으나 기계가공 후 -5.83~5.91mm 범위에 있어 최대 -1.86mm 변위가 발생함을 알 수 있다. 이러한 변위는 가공 부위 표면에 존재하는 인장, 압축잔류응력의 이완에 기인한 것으로 자체 품질관리 기준에 부합함을 알 수 있다.



[Fig. 5] Residual Stress Distributions of Bracket Casting(x-direction, MPa)



[Fig. 6] Analysis Model for Machining Bracket Casting
 (a) Outer Machining Part (shown as green color)
 (b) Inner Machining Part (shown as green color)
 (c) Analysis Model



[Fig. 7] Deformation of Bracket Casting after Machining(unit:mm)
 (a) Deformed Shape (Ux, x-direction, before machining)
 (b) Deformed Shape (Ux, x-direction, after machining)

3. 결론

본 연구에서는 유도전동기에 사용되는 브라켓 주조품의 품질을 평가하기 위하여 주조해석 및 잔류응력, 변형해석을 수행하였으며 그 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 브라켓을 주조, 탈사 한 후 상온으로 냉각했을 때 주조품에는 -53~54MPa 범위의 잔류응력이 존재한다.
- 2) 브라켓을 최종 기계가공 후 잔류응력에 의하여 주조품에 발생하는 변형량은 최대 1.8mm로 제품의 품질관리 기준을 만족한다.

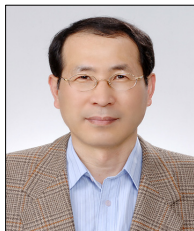
References

- [1] C. Rosbrook, S. Andersen and C. Heisser : "Casting Process Simulation of Casting Deformation after Ejection for an Aluminum Die Casting", International Aluminum Casting Technology Symposium, 1998.
- [2] AnyCasting Users' Manual Version 2, 2004.
- [3] J.S.Lee and Kim.S.H : "Thermal Analysis of Continuous Casting Welding-Coated Mold", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 2, No. 7, pp. 7-12, 2001.
- [4] H.L.Yu, J.W.Kang, S.X.Huang and T.Y.Huang : "Integrated Simulation of Castings Deformation during Casting and

- Heat Treatment Processes”, Advanced Materials Research, Vol. 148-149, pp. 103-107, 2011.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.148-149.103>
- [5] M.Y.Ha, H.G.Lee and S.H.Seong : “Numerical Simulation of Three-Dimensional Flow, Heat Transfer, and Solidification of Steel in Continuous Casting Mold with Electromagnetic Brake”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 133, pp. 322-339, 2003.
 DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)01009-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-0136(02)01009-9)
- [6] T.W.Lim and D.H.Cho : “Study on Heat Transfer Characteristic of Shell-and-Tube Heat Exchanger with Plate Fin”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 10, No. 1, pp. 46-51, 2009.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.1.046>
- [7] ANSYS Users’ Manual Version 8.1, 2007.
- [8] Metal Handbook, Vol. 1, 10th Edition, ASM, 1990
- [9] O.S.Kim, B.K.Koo and S.H.Min : “Analysis on the Elasto-Plastic Thermal Stress and Deformation of Metal Casting Mould by FEM”, Journal of the Korea Foundry Society, Vol. 13, No. 1, pp. 81-93, 1993.

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