

인버터 구동 3상 유도전동기의 효율 불확도 평가

Evaluation of the Efficiency Uncertainty for an Inverter-fed Three-Phase Induction Motor

이 호 현* · 박 한 석* · 전 희 득** · 김 대 경*** · 우 경 일*

(Ho-Hyun Lee · Han-Seok Park · Hee-Deuk Jun · Dae-Kyong Kim · Kyung-II Woo)

Abstract - This paper presented an evaluation method for the efficiency uncertainty of an inverter-fed three-phase induction motor using FEM. The motor efficiency in the FEM is calculated by the IEC 60034-2-3 as in the actual test. In the process of evaluating the efficiency uncertainty, the difference between the finite element method and the actual test is the method of calculating the type-A/B standard uncertainty of the input quantity to estimate the efficiency and each losses. For the input quantities which can confirm the instantaneous values with respect to time, the type-A standard uncertainty in the FEM is calculated from the RMS values or average values having separate periods in the steady state. And, the type-B standard uncertainty in the finite element method is assumed to be zero. Also, this paper compared and analyzed the efficiency uncertainty evaluated by the proposed method and the efficiency uncertainty through the actual test.

Key Words : Efficiency, Finite Element Method, Loss Separation Method, Three-Phase Induction Motor, Uncertainty

1. 서 론

현재 3상 유도전동기의 효율을 평가하는 국내 표준 시험방법은 손실 분리 시험이며, 효율 측정을 위해 전동기를 시험하는 경우 입력 에너지를 포함한 여러 측정값들은 계측 장비의 정밀도, 시험 방법, 또는 시험자의 숙련도에 따라 달라질 수 있다. 이러한 점을 보완하기 위해 손실 분리 시험은 수차례에 거친 측정으로 얻은 raw data의 산술평균을 통해 효율을 계산한다[1]. 그러나 산술평균을 이용하는 방법이 측정 단계에서 발생하는 측정값들의 변동을 효율에 모두 포함한다고 무한히 신뢰하기에는 어려움이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 측정 불확도 이론을 도입하여 효율 불확도를 평가함으로써 계산된 효율의 신뢰도를 향상시키기 위한 방법이 제안되었다[2].

제안된 방법은 피시험 전동기의 손실 분리 시험을 위한 공급 전압으로 상용 전원을 이용하였다. 그러나 현재 대부분의 유도전동기는 용이한 속도 및 토크 제어를 위해 인버터로 구동된다. 또한, 인버터 구동 시 철심의 포화를 방지하기 위해 스위칭 신호는

전압과 주파수를 일정 비율로 동시에 변화시킬 수 있는 SPWM 제어가 채택된다[3]. 따라서 유도전동기를 인버터로 구동하는 경우, 전동기에 공급되는 전압은 고조파가 함유되어 있는 전압임으로 그에 따라 손실과 효율이 달라진다. 현재 인버터로 구동되는 유도전동기에서 발생하는 고조파 손실을 명시하기 위해 IEC 표준이 제정되었으나, 국내에는 여전히 전동기의 설계, 해석 및 인버터 개발에만 연구가 진행 중이며, 고조파 손실 규명과 정확한 효율 측정에 관한 연구는 미비한 실정이다.

실제 시험으로 전동기의 효율을 평가하는 것이 가장 신뢰적이지만, 이를 위해서는 정확한 정밀도를 갖는 다양한 계측 장비가 요구되므로 비용적인 측면에서 부담이 될 수 있다. 또한, 별도의 안전 대책이 마련되지 않은 경우 시험 중인 전동기에 의해 사고 발생의 가능성이 있어 위험하다. 반면, 유한요소법은 실제 시험의 단점을 보완할 대안이 될 수 있으며, 실제 모델과 동일한 조건으로 해석할 경우 간단하고 정확한 해석이 가능하기 때문에, 유한요소법을 이용하여 정현파 구동 유도전동기의 효율 불확도를 계산하는 연구가 진행되고 있다[4].

따라서 본 논문에서는 인버터 구동 3상 유도전동기의 효율 불확도를 실제 시험이 아닌, 유한요소법으로 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 전력전자 해석 프로그램으로 모델링된 인버터와 유한요소 해석 모듈을 연계 해석하여 인버터 구동 3상 유도전동기의 특성을 해석한 후, 해석 결과를 이용하여 국제규격을 바탕으로 효율을 계산하고 실제 시험 결과와 비교한다[5]. 그리고 측정 불확도 이론을 유한요소법에 적용하여 효율 불확도를 평가한다.

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea.

E-mail: cogging@pknu.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea.

** Korea Testing Certification(KTC), Korea.

***Dept. of Electrical Control Engineering, Suncheon National University, Korea.

Received : January 12, 2018; Accepted : May 21, 2018

2. 유효요소법을 이용한 인버터 구동 3상 유도전동기의 효율 계산

2.1 효율 계산 절차

3상 유도전동기의 적절한 토크 및 속도 제어를 위해 사용되는 인버터의 스위칭 신호는 전압과 주파수를 동시에 변환시킬 수 있는 SPWM 제어가 이용된다. SPWM 제어되는 인버터의 출력전압은 그림 1과 같으며, 기본파에 대해 수많은 고조파가 함유되어 있다. 때문에 전동기에서는 기본파 성분에 의한 손실 이외에 고조파 성분으로 인한 손실이 추가적으로 발생한다. 국제규격은 고조파 성분으로 인한 추가적인 손실을 명시하는 방법을 통해 인버터 구동 3상 유도전동기의 효율을 계산한다[5].

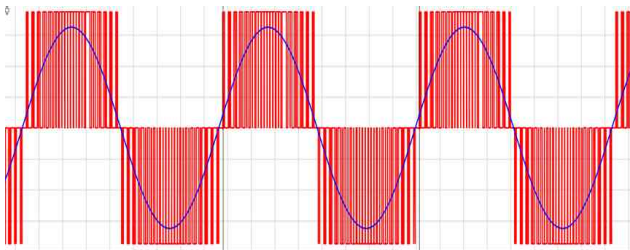


그림 1 SPWM 제어되는 인버터의 출력 선간전압
Fig. 1 Output voltage of the inverter controlled by SPWM

서 무부하 곡선 시험과 부하 곡선 시험을 시행하여 고조파 성분이 포함된 손실을 계산한다. 다음으로, 고조파 성분이 포함된 손실에서 기본파 성분에 의한 손실을 빼서 고조파 성분에 의한 추가적인 손실을 계산하여 측정된 입·출력에 대해 효율을 계산한다.

2.2 회로 모델링

그림 3은 본 논문의 효율 평가를 위해 선정된 0.86[kW]급 3상 유도전동기이며, 그 정격을 표 1에 나타내었다. 그림 4는 유효요소법을 이용한 효율 계산을 위해 인버터 구동회로를 단면도로 나타낸 것이다. 3상 유도전동기의 전자기적 해석은 Maxwell을 이용하였고, 이를 구동시키는 인버터 회로 설계는 Simpleror를



그림 3 0.86[kW]급 3상 유도전동기
Fig. 3 0.86[kW] class three-phase induction motor

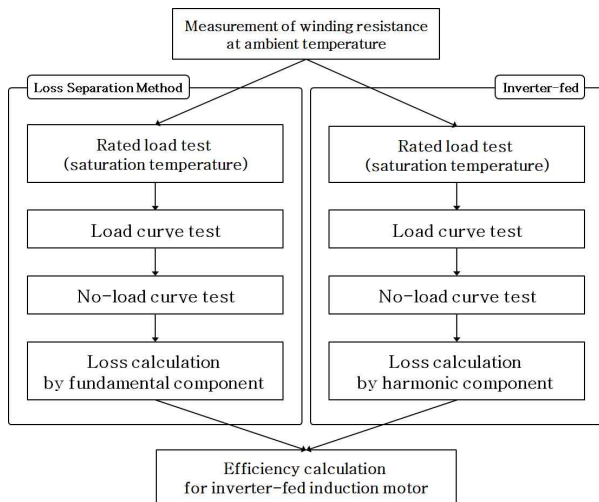


그림 2 인버터 구동 유도전동기의 효율 측정 절차
Fig. 2 The procedure of efficiency measurement for an inverter-fed induction motor

국제규격에 따르면, 인버터 구동 3상 유도전동기의 효율을 측정하는 절차는 그림 2와 같다[5]. 먼저 기본파 성분에 의한 손실을 파악하기 위해, 상용 전원으로 유도전동기를 구동하여 손실 분리 시험을 시행한다. 그 후, 유도전동기를 인버터로 구동한 상태에

표 1 0.86[kW]급 3상 유도전동기 정격

Table 1 The rating of 0.86[kW] Class three-phase induction motor

Category [Unit]	Rating
Output Power [kW]	0.86
Voltage [V]	460
Poles	4
frequency [Hz]	60

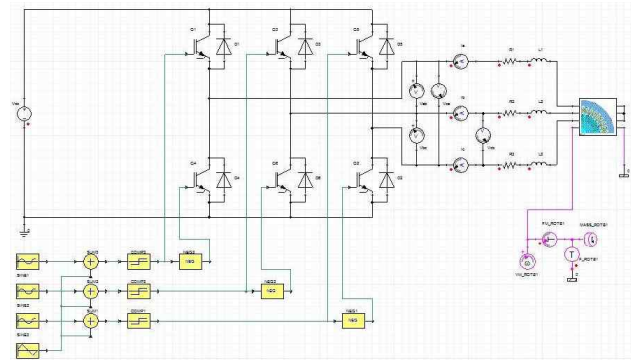


그림 4 인버터 구동 유도전동기 회로도
Fig. 4 The schematic of an inverter-fed induction motor

를 이용하였다. Maxwell을 이용한 유도전동기의 전자기적 해석은 2차원 또는 3차원 모두 가능하나, 본 논문에서는 간단한 효율 계산을 위해 비교적 시간이 적게 소요되는 2차원 해석을 채택하였다.

2.3 효율 계산

인버터 구동으로 발생하는 추가적인 고조파 손실을 계산하기 위해서, 먼저 상용 전원으로 구동시켜 기본과 성분에 의해 발생하는 손실을 구하여야 한다. 상용 전원으로 구동되는 유도전동기의 손실을 측정하기 위한 국내 표준 시험방법은 손실 분리 시험으로 그림 2의 왼쪽 영역에 해당한다. 유도전동기에서 발생하는 각 손실은 다음과 같은 계산을 통해 개별적으로 구해지며, 표 2에 유한요소 해석 결과로 계산한 손실을 나타내고 실제 시험값과 비교하였다.

$$P_k = P_{fw} + P_{fe} = P_0 - P_{s0} \text{ [W]} \quad (1)$$

$$P_{Lr} = P_1 - (P_2 + P_s + P_{fe} + P_r + P_{fw}) \text{ [W]} \quad (2)$$

$$P_{s\theta} = 1.5 \times I^2 \times R_1 \times \left(1 + \frac{25^\circ\text{C} - \theta_c}{\theta_w + K} \right) \text{ [W]} \quad (3)$$

$$P_{s\theta} = 1.5 \times I^2 \times R_1 \times \left(1 + \frac{25^\circ\text{C} - \theta_c}{\theta_w + K} \right) \text{ [W]} \quad (4)$$

여기서, P_k : 일정손실 [W], P_{fw} : 풍·마찰손 [W], P_{fe} : 철손 [W], P_0 : 무부하 입력(측정된 값) [W], P_{s0} : 고정자 동손(무부하 시) [W], K : 온도보정 계수, P_{Lr} : 잔류손실 [W], P_2 : 기계적 출력 [W], P_s : 고정자 동손 [W], P_r : 회전자 동손 [W], $P_{s\theta}$: 25[°C]로 보정된 고정자 동손 [W], I : 전류 [A], R_1 : 초기 권선 저항 [Ω], θ_c : 대기온도 [°C], θ_w : 권선온도 [°C], $P_{r\theta}$: 25[°C]로 보정된 회전자 동손 [W], N : 회전속도 [rpm]

유도전동기의 철손과 풍·마찰손의 합은 부하 변화와 관계없이 일정한 추이를 보이므로 일정손실로 취급되며, 무부하 시험으로

표 2 기본과 성분에 의한 손실 및 효율

Table 2 The losses and efficiency by fundamental component

Symbol [Unit]	Value	
	FEM	Actual test
P_{in} [W]	1017.87	1059.38
$P_{s\theta}$ [W]	65.03	66.80
P_{fe} [W]	35.62	31.84
$P_{r\theta}$ [W]	43.29	47.19
P_{fw} [W]	7.73	7.13
P_{LL} [W]	5.22	9.26
$P_{T,\sin}$ [W]	156.89	162.21
η [%]	84.59	84.69

부터 얻어진다. 이와 관련하여, 인버터 구동에 의해 여러 손실이 변화하여도 부하와 무관하게 일정한 증가분이 있을 것으로 가정하여 계산한 손실이 추가적인 고조파 손실의 일정 부분이며 다음과 같이 계산한다.

$$P_k = P_{fw} + P_{fe} = P_0 - P_{s0} \text{ [W]} \quad (5)$$

여기서, $P_{HL, No-Load}$: 추가적인 고조파 손실의 일정 부분 [W], P_{kC} : 인버터 구동에서의 일정손실 [W], P_k : 정현파 구동에서의 일정손실 [W]

또한, 표류부하손은 부하 곡선 시험 시 각 부하 지점에서 발생하는 잔류손실의 평활화를 통해 계산하며, 잔류손실은 측정된 입력력에 대해 고정자 동손, 철손, 회전자 동손, 풍·마찰손 및 기계적 출력을 빼서 계산한다. 이처럼 잔류손실의 계산은 부하에 따른 영향을 포함한다고 가정할 수 있으며, 부하 크기에 따라 변화하는 고조파 손실의 크기는 추가적인 고조파 손실의 부하의존 부분이라 부르고 다음과 같이 계산한다.

$$P_{HL, Load} = P_{LLC} - P_{LL} \text{ [W]} \quad (6)$$

여기서, $P_{HL, Load}$: 추가적인 고조파 손실의 부하의존 부분 [W], P_{LLC} : 인버터 구동에서의 표류부하손 [W], P_{LL} : 정현파 구동에서의 표류부하손 [W]

식 (5)~(6)으로부터 인버터 구동으로 발생하는 추가적인 고조파 손실과 이에 따른 효율을 다음과 같이 계산할 수 있으며, 표 3에 유한요소 해석 결과로 계산한 손실과 효율을 나타내고 실제 시험값과 비교하였다.

$$P_{HL} = P_{HL, Load} + P_{HL, No-Load} \text{ [W]} \quad (7)$$

$$P_{T, inverter} = P_{T, \sin} + P_{HL} \text{ [W]} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{T, inverter}} \text{ [%]} \quad (9)$$

여기서, P_{HL} : 추가적인 고조파 손실 [W], $P_{T, inverter}$: 인버터 구동에서 발생하는 총 손실 [W], $P_{T, \sin}$: 정현파 구동에서 발생하는 총 손실 [W], P_2 : 정현파 구동에서의 기계적 출력 [W], η : 효율 [%]

표 3 고조파 성분에 의한 손실 및 효율

Table 3 The losses and efficiency by harmonic component

Symbol [Unit]	Value	
	FEM	Actual test
P_{HL} [W]	30.74	32.68
$P_{T, inverter}$ [W]	187.63	194.89
η [%]	82.11	82.15

표 2, 3에 따르면, 그림 3의 전동기를 해석한 결과 인버터로 구동하면 고조파 성분에 의해 30.74[W]의 손실이 추가로 발생한 것을 알 수 있으며, 이에 따라 효율은 2.48[%] 감소한 것을 알 수 있다.

3. 측정 불확도 이론

3.1 불확도 평가 절차

국제적으로 인정된 국제규격을 고려한 효율 불확도 평가는 그림 5의 절차와 같이 시행된다[6]. 그림 5에 따르면, 효율 불확도 평가를 위해 가장 먼저 요구되는 것은 효율 및 각 손실을 측정하는 모델식을 수립하는 것으로 식 (1) ~ (9)에 해당한다. 그 후, 수립된 모델식을 추정하기 위한 입력량인 전압, 전류, 토크, 속도 등에 대한 불확도 요소를 선정하고, 그에 대한 A/B형 표준 불확도를 산출한다. 다음으로 각 표준 불확도를 불확도 전파법칙에 따라 합성하여 합성 표준 불확도를 구하고, 마지막으로 포함인자를 곱하여 신뢰수준이 적용된 확장 불확도를 산출한다.

3.2 유한요소법에서의 불확도 이론 적용

실제 시험에서는 n 회 측정을 통한 통계적 기법으로 A형 표준 불확도, 계측 장비의 정밀도 등 선험적 기법으로 B형 표준 불확도를 계산한 후, 수립된 모델식에 대한 합성 표준 불확도를 산출한다. 즉, 임의의 모델식에 대한 표준 불확도를 산출하기 위해서는 반드시 A/B형 표준 불확도를 얻어야만 한다. 이와 관련하여, 유한요소법에서도 실제 시험과 같이 입력량의 불확실성만 얻을 수 있다면, 각 손실에 대한 합성 표준 불확도의 산출과 확장 불확도를 이용한 효율 불확도 평가가 가능하다.

실제 시험을 통한 불확도 평가와 유한요소법을 이용한 불확도

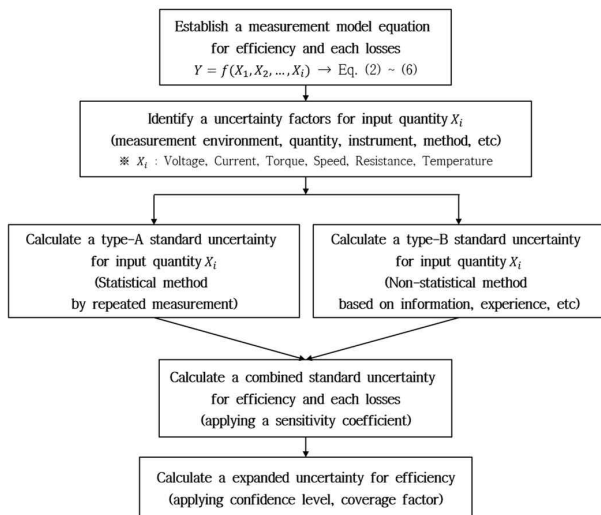


그림 5 효율 불확도 평가 절차

Fig. 5 The evaluation procedure of efficiency uncertainty

평가의 차이는 입력량에 대한 A/B형 표준 불확도의 산출 방법이다. 실제 시험에서 A형 표준 불확도는 각 계측 장비를 사용하여 n 회의 반복 측정으로 얻은 raw data의 표준편차로부터 계산하며, B형 표준 불확도는 계측 장비의 정밀도로부터 구할 수 있다. 그러나 유한요소법의 경우, 계측 장비를 사용하는 것이 아니므로 실제 시험과 다른 방법으로 각 표준 불확도를 산출해야 한다.

그림 6은 인버터 구동 유도전동기의 유한요소 해석으로 얻은 전압 및 전류 파형이다. 유한요소법에서의 A형 표준 불확도는 그림 6에서 임의의 n 개의 주기를 선정하고 실험값 또는 평균값을 계산하여 얻은 raw data로부터 산출할 수 있다. 표 4는 정현파

표 4 각 입력량의 A형 표준 불확도(정현파 구동)

Table 4 The type-A standard uncertainty of each input quantity (sinusoidal-fed)

Symbol [Unit]	Average	Standard deviation	Type-A standard uncertainty	Degree of freedom
1) Load curve test				
T [N·m]	4.79	0.0003	0.0001	9
P_1 [W]	1017.87	0.9483	0.2999	9
I [A]	1.77	0.0011	0.0004	9
N [rpm]	1715.13	0.1061	0.0335	9
V_1 [V]	459.99	0.0022	0.0007	9
2) No-load curve test				
V_0 [V]	459.99	0.0022	0.0007	9
I_0 [A]	1.23	0.0004	0.0001	9
P_0 [W]	77.61	0.4143	0.1310	9
3) Resistor and temperature are considered as constants.				

표 5 각 입력량의 A형 표준 불확도(인버터 구동)

Table 5 The type-A standard uncertainty of each input quantity (inverter-fed)

Symbol [Unit]	Average	Standard deviation	Type-A standard uncertainty	Degree of freedom
1) Load curve test				
T [N·m]	4.80	0.1551	0.0491	9
P_1 [W]	1047.75	32.0461	3.1623	9
I [A]	1.79	0.0204	0.0065	9
N [rpm]	1715.58	3.4154	1.0800	9
V_1 [V]	557.73	0.6811	0.2154	9
2) No-load curve test				
V_0 [V]	557.62	0.7103	0.2246	9
I_0 [A]	1.25	0.0285	0.0090	9
P_0 [W]	84.36	23.4518	7.4161	9
3) Resistor and temperature are considered as constants.				

구동, 표 5는 본 논문에서 인버터 구동으로 해석한 결과로부터 산출한 각 입력량의 A형 표준 불확도를 정리한 것이다[4]. 표 4, 5와 같이 토크, 입력, 전류, 속도, 전압 등은 A형 표준 불확도를 산출할 수 있으나, 온도 및 권선 저항은 해석 전에 설정되는 값이므로 일정 상수로 고려하였다. 반면, 유한요소 해석은 설계된 파라미터를 기반으로 정확한 계산에 의해 수행되므로 유한요소법에서의 B형 표준 불확도는 0으로 간주할 수 있다.

4. 유한요소법을 이용한 인버터 구동 3상 유도전동기의 효율 불확도 평가

표 6은 3상 유도전동기의 입력을 포함한 각 손실 및 효율에 대한 불확도 평가표로서, 표 4, 5를 이용하여 계산한 손실 및 효율의 추정값과 표준 불확도를 나타낸다.

표 6 효율 불확도 평가표

Table 6 The uncertainty table for the efficiency

Symbol [Unit]	Value	(Combined) Standard Uncertainty
1) Sinusoidal-fed		
P_2 [W]	862.63	0.0235
$P_{T, sin}$ [W]	156.89	0.001
2) Inverter-fed		
P_1 [W]	1047.75	3.1623
P_{HL} [W]	30.74	9.3976
$P_{T, inverter}$ [W]	187.63	9.398
η [%]	82.11	0.0094

불확도 전파법칙을 이용하여 각 손실의 표준 불확도로부터 효율의 합성 표준 불확도를 0.0094[%]로 산출하였다. 또한, 효율 모델식에 대해 계산된 유효 자유도는 11.45이므로, ∞ 로 취급하여 정규 t-분포표에서 신뢰수준을 2로 찾았다. 따라서 신뢰수준을 적용한 확장 불확도를 다음과 같이 산출하여 유한요소법을 이용한 인버터 구동 3상 유도전동기의 효율 불확도를 평가할 수 있다. 이는 효율 계산을 위한 100번의 반복 해석동안, 95번의 결과가 82.10 ~ 82.12[%] 사이에 존재한다는 의미이다.

$$\eta = 82.11 \pm 0.01 \text{ (단, 신뢰수준 95 [%], } k=2\text{)} \quad (10)$$

3. 결 론

본 논문에서는 인버터 구동 3상 유도전동기의 효율 불확도를 유한요소법으로 간단하게 평가하는 방법을 제시하였다. 3상 유도전동기 1대를 선정하여 유한요소법으로 이를 해석하고, 해석 결과를 바탕으로 IEC 60034-2-3에 따라 효율을 계산하였고 실험

결과와 비교하여 해석의 정확도를 확인하였다. 그 후, 측정 불확도 이론을 적용하여 계산된 효율의 불확도를 평가하였다. 평가 결과, 정현파 구동과 인버터 구동 각각의 효율 불확도는 ± 0.07 [%], ± 0.01 [%]로 평가되었다. 정현파 구동에 비해 인버터 구동에서 입력량들의 표준 불확도가 더 크에도 불구하고, 최종적인 효율 불확도는 더 낮게 평가되었다. 이는 효율을 계산하는 모델식의 차이로 보인다. 손실 분리 시험에 따르면, 정현파 구동 시의 효율은 측정된 입력에서 손실을 빼서 효율을 계산하지만, 국제규격에서 인버터 구동 시의 최종 효율은 기계적 출력에서 손실을 더해서 효율을 계산한다. 손실이 모델식의 분모에 존재하여 효율에 대한 손실의 감도계수가 낮아지게 되고, 그에 따라 효율의 합성 표준 불확도가 낮게 계산되었다.

본 논문에서 제시한 방법으로 유한요소법을 이용한 불확도 평가가 가능하였으며, 이를 통해 전동기 설계 및 제작 과정에서 더욱 신뢰적인 평가 지표로 활용될 가능성을 확인하였다. 본 논문에서 B형 표준 불확도는 0으로 간주하였다. 그러나 B형 표준 불확도는 분명히 존재하는 값이며 본 논문의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 이를 적용하기 위한 방법을 고려할 필요가 있다. 또한, Multi-Physics 해석을 통해 평가 과정에서 상수로 취급되었던 저항과 온도에 대한 A/B형 표준 불확도의 산출 방법에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음

References

- [1] KS C IEC/TS 60034-2-1, "Rotating electrical machines - Part 2-1 : Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)", 2014.
- [2] Hee-Deuk Jun, Han-Seok Park, Dea-Kyong Kim, Kyung-Il Woo, "Study on the Evaluation of Uncertainty for the Efficiency of 0.75[kW] Class Three Phase Induction Motor", the Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers, 64(4), pp. 653-659, 2015.
- [3] Kwang-Woo Chung, "A study on Control Technics and Driving Device for Induction AC Motors", Korea Railroad College, Vol. 15, 1999.
- [4] Ho-Hyun Lee, Han-Seok Park, Hee-Deuk Jun, Kyung-Il Woo, "Evaluation for Efficiency Uncertainty of Three-Phase Induction Motor using Finite Element Analysis", the Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers, 66P(4), 163-168. 2017.
- [5] IEC/TS 60034-2-3, "Rotating electrical machines - Part

2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC induction motors, 2013.

[6] ISO, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)", 1995.

저 자 소 개



이 호 현 (Ho-Hyun Lee)

1993년 01월 17일생. 2016년 부경대 전기공학과 졸업(공학사). 2018년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2018년~현재 동 대학원 박사 과정.



박 한 석 (Han-Seok Park)

1955년 03월 23일생. 1981년 중앙대 전기공학과 졸업(공학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1996년 한국해양대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1986년~현재 부경대학교 전기공학과 교수.



전 희 득 (Hee-Deuk Jun)

1975년 05월 20일생. 2000년 한양대 전기전자공학과 졸업(공학사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2017년 부경대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 2002~2005년 중소기업진흥공단 전동기설계실 연구원. 2005년~현재 한국기계전기전자시험연구원 회전기센터 선임연구원. 2009년~현재 기술표준원 지정 국제표준화 기구 IEC/TC 2(회전기) 간사.



김 대 경 (Dae-Kyong Kim)

1972년 9월 27일생. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(박사). 2001~2005년 삼성전자 가전연구소 선임연구원. 2005~2011년 전자부품연구원 디지털 컨버전스 연구센터 센터장. 2011년~현재 순천대학교 전기제어공학과 부교수



우 경 일 (Kyung-II Woo)

1969년 09월 06일생. 1995년 한양대 전기공학과 졸업(공학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2002년~현재 부경대학교 전기공학과 교수.