

고효율인버터 기술기준

박정우, 이승윤, 정수남*
한국전기연구원, 한국전력공사, 에너지관리공단**

Technical Standard of high-Efficiency Inverter

Jung-Woo Park, Seung-Yoon Lee, Soo-Nam Jung*
KERI, KEPCO, KEMCO**

Abstract - 2승 저감 형태의 부하특성을 갖는 공조용 팬이나 물을 순환시키는 펌프를 구동하는 전동기는 일반적으로 전원전압을 직입(直入)하여 사용한다. 따라서 전원 주파수인 60Hz가 회전속도의 기준이 되어 4극인 유도전동기를 예를 든다면 기준속도가 1800[rpm]이 되며, 이 속도는 부하 조건과 관계없이 운전되면서 경부하 조건에서는 불필요한 에너지를 많이 소모하는 원인이 되어왔다. 이런 문제점은 부하에 맞추어 속도를 제어해 줌으로써 소모전력을 현격히 줄일 수 있는데 이를 위해 일반적으로 인버터를 사용한다.

그런데 인버터에 대해서는 KS 기준이 없어 개인별 또는 기업체별로 가지고 있는 평가기준을 활용하여 인버터를 개발해 왔다. 이에 본 논문에서는 인버터 보급을 촉진시키기 위한 관련 정책을 분석하고 인버터에 대한 기술기준을 제시하여 인버터 평가기준을 보급하고자 한다.

1. 고효율인버터 보급확대를 위한 추진 동향

고효율 인버터에 대한 지원 정책은 2001년 3월 23일 한국전력공사의 고효율인버터에 대한 보급지원제도 시행으로 시작하였다. 산업용으로 사용되는 2승절감 부하에 적용되는 인버터(7.5kW-55kW)를 대상으로 시작하였으며 에너지 절감량이 25kW를 넘게 되는 경우로 한정하여 시행하였다^[1]. 그리고 2001년 12월 31일 인버터를 고효율 에너지기자재로 편입시킴으로써 [G]마크 인증품을 [e]마크 인증품으로 갱신할 수 있도록 2002년 6월 30일까지 유예조치가 취해졌다^[2]. 이러한 정책변화에 따라 고효율인버터에 대한 기술기준은 민영기술 기준에서 국가기술기준으로 변모하게 되었고 그 동안 엘지산전, 현대중공업, 로크웰삼성오메이션, 포스콘, 서호전기, 그리고 ABB코리아에서 인증을 받았다.

2003년 3월12일에 있었던 산자부 고시 제2003-28호에서 적용대상을 0.1kW부터 220kW까지로 확대하였으며, 이를 9개의 군으로 구분하고 각 군내 모델 중 가장 큰 모델을 인증시험을 받아 인정받게 되면 군내 다른 모델은 시험은 면제하되 소정의 면제 절차를 밟도록 하여 인정해 주도록 하고 있다.

이에 상응하여 사후관리를 주관하고 있는 한국전력공사에서도 고효율인버터에 대한 운영 지침 개정을 통해 3.7kW부터 220kW까지를 사후관리 대상으로 확대하였으며, 절감전력의 합계가 25kW에서 10kW 이상만 되면 지원금을 주도록 하여 인버터 보급이 확대될 수 있도록 제도적인 환경을 크게 개선하였다^[3,4].

지정시험기관으로 등록되어 있는 한국전기연구원에서는 220kW까지 확대된 인버터를 평가할 수 있도록 250KW급 다이노미터 설비를 신규로 구축하고 있으며 5월말 정도에 완료할 계획으로 추진하고 있다. 현재 현대중공업과 엘지산전으로부터 확대된 군의 모델을 예약 받아 놓을 만큼 호응이 높으나 추가적인 수요는 예약한 수요를 넘지 않을 만큼 국내 시

장은 아직 좁다. 각 군별로 시험수수료를 보면 1군에서 7군(0.1kW-75kW이하)까지는 505만원, 7군과 8군(75kW초과-160kW이하)은 605만원, 그리고 8군(160kW 초과-220kW이하)은 755만원이다.

이렇게 인버터에 대한 보급을 지원하기 위해 용량을 확대하고 절감전력 용량을 축소하였지만 일각에서는 최대운전주파수와 회전방향에 대하여 기술기준에서 규약하고 있는 제한 사항을 철회해 주기를 희망하고 있다. 인버터 보급을 더욱 장려하는 방법이 되며 이로써 절감전력을 증대시킬 수 있는 것임에는 틀림이 없지만 몇 가지 조심스러운 면이 있다. 인버터에 대해 지원금이 전력기반기금에서 사용되고 있으며 이는 전기 요금의 일부라는 것이다. 따라서 전기요금에 대한 상승 요인을 억제할 수 있다는 방안을 어떤 식으로든 고효율인버터 기술기준에서 반영될 필요가 있으며 이것이 최대운전 주파수에 대한 제한이고 최소한의 강제적인 첨부부하 억제력을 주고 있어 전력회사에서 전력판매를 억제하는 정책을 지원하는 명분이 되고 있다. 기술기준 내부의 요인으로 분석해 보면, 2승저감 부하에 대해 사용되도록 대상을 한정하고 있으나 전압/주파수 패턴을 2승저감 패턴으로 한정하지 않고 선형패턴(linear 패턴)을 구비하는데 규제하지 않고 있다. 따라서 60Hz 근방에서만 인버터를 사용하는 경우는 오히려 인버터 손실로 인하여 에너지를 더 많이 사용되는 설비보급에 지원금을 줄 수 있다는 가능성이 있고 일단 보급되면 현실적으로 일대일 점검이 어려운 상황에서 적용될 가능성을 배제하기 어렵다. 또한 지원금 규모를 결정할 수 있는 최소한 전력저감 비율을 산정하기 어렵게 되므로 최대운전 주파수에 대한 규제를 완화하고자 한다면 우선은 전압/주파수(V/f) 패턴을 2승저감 패턴 한 개로 단일화해야 하며 지원금 규모를 대폭 저감시켜서 운영해야 한다고 생각한다. 이러한 방법은 인버터 보급이 포화된 시점에서 추가적으로 인버터 수요 확대위해 채택할 수 있는 제도적인 지원방안으로써 적합하다고 본다.

2002년도 발전설비 용량은 약52,000MW이며, 전동기에 의한 전력분담율을 60%로, 2승저감 부하에 적용되는 비율을 30%로, 2승부하중 220kW 이하의 비율을 70%로, 그리고 절감전력비율을 37%로 산정하였을 때 연간 절감전력은 2,400MW에 상당하는 것으로 이는 전체 설비용량의 4.6%에 해당된다. 인버터 한개 항목에서 이처럼 큰 효과를 가지기 때문에 국가적인 입장과 전력회사 모두에게 도움이 되는 방안으로 인식되며, 교토 의정서에 의거한 이산화탄소 배출량을 유지하는데도 일조를 할 것으로 판단된다.

인버터에 대한 지원금 제도가 시작된지 3년째를 맞이하면서, 인증마크를 획득하지 않고 국내에서 판매망을 형성하고 있는 외국 인버터의 대리점으로부터 문의를 받는가 하면 사출기와 염색기에 적용되고 있는 인버터에 대해서도 동일한 혜택을 요구하는 문의 사항이 종종 있다. 사출기와 염색기에 사용되는 펌프에 인버터를 적용하여 가변속으로 운전하는 것으로써 전감전력을 40% 이상 달성할 수 있기 때문이다. 따라서 최대 운전주파수에 대해 규제를 완화하여 보급을 확대하는 것 보다는 이송 매질에 관계없이 펜(Fan)이나 펌프를 구동하는 전동기에 적용된 인버터는 모두 2승저감 부하라고 확대 해석해 주는 방법도 큰 효과가 있다고 판단된다. 아무튼 이 모두가 인버터를 널리 보급하고자 하는 발로에서 나온 것이며 기술에 대해 산자부 고시 제2003-28을 중심으로 평가기준을 살펴보고자 한다.

2. 고효율인버터 기술기준

2.1 고효율 인버터 기술기준

산자부 고시 제2003-28에서 규정한 기술기준에 대해 특징을 분석하면 크게 4가지로 구분하여 정리할 수 있다^[4]. 속도제한과 에너지절약, V/f 패턴과 에너지절감, 내환경기능, 그리고 보호기능이 그것이다. 이에 대하여 간략하게 설명하고, 산업자원부 고시 제2001-153호에 대한 자세한 기술기준은 <http://www.mocic.go.kr> (자료실>법령자료>고시)에서 내려받기를 할 수 있다.

(1) 속도제한과 에너지 절감

직입 기동에서 사용하는 60Hz 보다 낮은 속도에서 운전되고, 일정량의 에너지절감을 확보하기 위하여 최대운전 주파수를 제약하는 것으로, KS C 4202(일반용 저압 3상 유도전동기)에서 규정한 유도전동기에 대해 가변속으로 운전시키는 범용 인버터로서의 기본 기능을 구비해야 하고, 최대 운전 주파수가 50㎐ 또는 55㎐로 제한되어 있다.

(2) v/f 패턴과 에너지 절감

전동기에 붙는 여러 가지의 부하형태에 대해 대응능력을 가질 수 있도록 V/f 패턴은 선형 패턴, 2승저감 패턴, 그리고 사용자 임의설정 패턴을 구비해야 하며, 특히 팬과 펌프부하 특성에 대응하기 위한 2승저감 패턴을 반드시 구비하도록 규정하고 있으며 공장출하시에 2승저감 패턴이 설정되어 출하되도록 유도하고 있다.

(3) 내환경

인버터에 대한 내구성 확보와 외부 환경적인 요인에 대해 대처 능력이 있도록 내진동, 내전압, 내써지, 절연저항 확보, 운전내구성, 그리고 운전가능 온도에 대해 규정하고 있으며, 전동기의 손실에 영향을 끼치는 고조파 함유율에 대해 규정하고 있다.

(4) 보호기능

비정상적인 조건에서 발생할 수 있는 인버터 파손을 방지하기 위하여 과전류, 과전압, 부족전압, 과열, 그리고 단락에 대해 보호 기능을 구비하도록 규정하고 있다.

2.2 보완 가능한 기술항목

(1) 온습도 조건

주위 온도에 대해 규정하는 것을 IEC61800 -2에서 참고하면 -25℃에서 부터 +55℃ 범위 내에서는 모든 기능에서 이상이 없어야 하며, 상대습도에 대해서도 5%부터 95% 사이에 대해 문제가 없을 것을 규정하고 있다. 따라서 현재의 규정에서 빠져있는 습도에 대한 규정과 온도에 대한 강화된 규정이 검토될 필요가 있다.

(2) 다양한 에너지절감 방식

가변속 운전과 주파수제한, 그리고 2승저감 형태의 전압/주파수 패턴에 근간을 두고 있는 고효율인버터에서 벗어나지만 에너지 절감에 대해 특성을 갖고 있다면 인정해 줄 수 있는 개방적인 규정이 필요하다. 다음은 직접토크제어(DTC control)방식에 의한 인버터의 전압/주파수 특성을 나타내었다. 이러한 특성을 나타내는 인버터에서도 입력전력이 저감되므로 적극적인 수용이 필요하다고 본다.

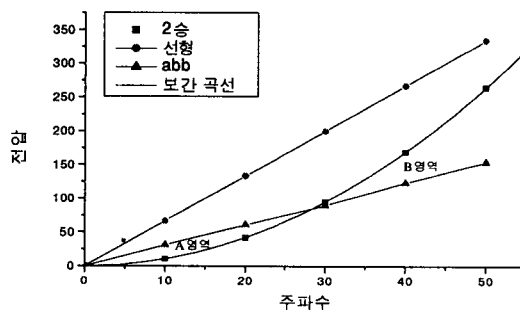


그림1. DTC 제어알고리즘을 구비한 인버터의 V/f 특성 (ABB, 37kW)

(3) EMI/EMC

EMI/EMC에 대한 관련규정은 IEC 61800-3에 기술되어 있는데, 산업용에 적용할 수 있는 기준을 준비할 필요하다.

(4) 전압/주파수 패턴 단일화

전압/주파수 패턴은 최대운전 주파수에 대한 제한 사항이 해제될 때를 대비하고 2승저감 부하에서만 사용될 수 있도록 선형패턴은 제거하고 2승 패턴만을 인정하는 것이 바람직하다.

(5) 최대운전 주파수 해제

최대운전수에 대한 제약 조건을 일정 시기 후에 해제하는 것도 검토되고 있다.

3. 고효율기술기준 적용 특성

고효율 기술기준에 의거하여 국내외 인버터(37kW, 400V급)를 대상으로 비교한 자료를 다음에 나타내었다. 기술 기술에서 요구하는 수준을 만족하여 실제 적용하는데 문제가 없음을 알 수 있지만, 제조업체에 따라 조금씩 차이가 있음을 알 수 있다.

① 효율비교

표 1. 440V, 37kW 인버터 효율

제조업체	A	B	C	D	E	F
효율 [%]	96.2	96.2	96.0	97.5	97.0	95.1
측정장비	PM3300(VOLTECH), NORMA D6000(LEM)					

② i_{THD} 비교

표 2. 440V, 37kW 인버터 i_{THD}

제조업체	A	B	C	D	E	F
i_{THD} [%]	1.53	0.99	2.37	6.26	3.76	3.15
측정장비	PZ4000(YOKOGAWA)					

③ 온도상승 비교

표 3. 440V, 37kW 인버터 부품포화온도[Δt]

제조업체	A	B	C	D	E	F
CPU	5.5	20.8	10.3	10.6	13.6	42.3
IGBT	20.7	19.2	6.7	22.6	28.0	26.2
DC_Link 콘덴서	2.7	13.8	1.7	10.6	6.6	40.8
측정장비	HR1300 (YOKOGAWA)					

④ V/f 패턴 비교

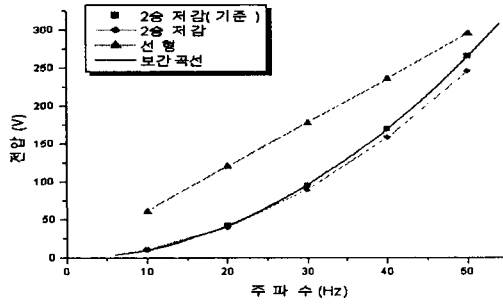


그림 2. V/f 특성(서호전기)

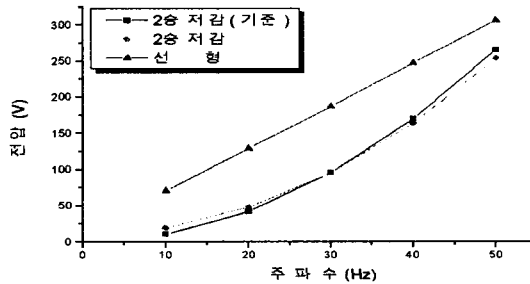


그림 3. V/f 특성(ABB코리아)

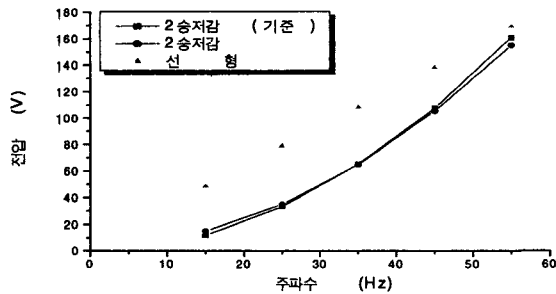


그림 4. V/f 특성(엘지산전)

4. 지원금제도와 평가시험

4.1 한전의 고효율인버터 지원금 제도

고효율 인버터에 대한 지원금 제도는 한국전력공사에서 주관하여 추진하고 있으며, 사후 관리에 대해서도 2002년도부터 추진하고 있다. 사후관리는 인증시험을 필한 해와 공단의 지침에 따라 정기적으로 갱신하는 해를 제외한 연도에서 고효율 인버터의 성능 유지를 목적으로 시행하고 있다. 자세한 정보는 http://www.kepco.co.kr/htdoc_sample/energy_sv/utility/utility_06.jsp를 참고하면 도움이 된다.

4.2 지정시험 역할

지정시험기관은 고효율 인버터를 인증해 주는데 요구되는 제품 성적서와 품질 유지를 확인해 주는 성적서를 발행하는 역할을 에너지관리공단과 한국전력공사로부터 이관 받아 수행하는 기관이다. 고효율 인버터에 대한 지정된 한국전기연구원은 현재 사용하고 있는 산자부 기술 고시 기준을 정립하는데 크게 기여한 바 있다^[1,4]. 평가 시료는 전압과 용량에 따라 분류하며, 전압은 220V와 440V급(380~480Vac)으로 분류되고 용량은 표4에 나타난 것과 같이 9개 군으로 분류된다. 시료수는 전압과 용량으로 결정된 군의 최대 모델에 대해 1set (50Hz 1대, 55Hz 1대)를 시료로서 접수 받는다. 신청양식과 지정시험에서 적용하는 지침, 그리고 에너지절감 자료 등에 대한 자세한 지침을 <http://mecha.keri.re.kr/inverter.htm>에서 참조할 수 있다.

표 4. 인버터 용량 분류표

시험 품 목	
1군	0.1kW 이상 ~ 7.5kW 이하
2군	7.5kW 초과 ~ 15kW 이하
3군	15kW 초과 ~ 22kW 이하
4군	22kW 초과 ~ 37kW 이하
5군	37kW 초과 ~ 55kW 이하
6군	55kW 초과 ~ 75kW 이하
7군	75kW 초과 ~ 110kW 이하
8군	110kW 초과 ~ 160kW 이하
9군	160kW 초과 ~ 220kW 이하

5. 맺음말

고효율에너지 기자재로 신규 편입된 고효율인버터 리베이트 제도의 추진동향을 살펴보고 기술기준을 보급하기 위해 관련 기준을 소개하였다. 그리고 기술기준을 국내외 인버터에 직접 적용하여 얻은 특성을 제시함으로써 적용에 문제가 없음을 확인하였다. 그리고 지정시험기관에서 추진하고 있는 내용을 함께 소개하였다. 추후 계속적으로 기술기준을 보완하고 추가한다면 인버터 개발기술을 한 단계 고양시켜 인버터 기술을 한 단계 올리고 보급을 촉진하는데 크게 기여할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, 전동기 가변속 제어용 인버터 시험 및 평가기술 기준연구, 2001.
- [2] 산업자원부, 고효율 에너지기자재 보급촉진에 관한 규정 (산자부 고시 제2001-153호), 2001.
- [3] 산업자원부, 고효율 에너지기자재 보급촉진에 관한 규정 (산자부 고시 제2002-86호), 2002.
- [4] 산업자원부, 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정 (산자부 고시 제2003-28호), 2003.

□ 고효율인버터의 기술기준

1) 대상 인버터 및 전동기

KS C 4202(일반용 저압 3상 유도전동기)에서 규정한 유도전동기에 대해 가변속으로 운전시키는 범용 인버터로서의 기본 기능을 구비해야 하며, 최대 운전 주파수가 50㎐ 또는 55㎐로 제한되어 있어야 한다. 그리고 양방향(정회전과 역회전 운전)으로의 운전 중 한쪽 방향의 운전만 가능하도록 제한되어 있어야 한다.

2) 입력 교류 전압 허용변동과 허용출력 주파수

정격 입력 주파수에서 입력 교류 전압이 정격치의 $\pm 10\%$ 범위 내에서 변화하여도 출력주파수의 변동은 정격치의 $\pm 0.5\%$ 이하이어야 한다. 그리고, 과도상태에서의 변동은 정격 입력 주파수에서 입력교류 전압이 정격치의 $\pm 20\%$ (1.5초)변화하여도 출력주파수의 변동은 정격치의 $\pm 0.5\%$ 이하이어야 한다.

3) 과부하 전류 내량(耐量)

정격 출력 전류의 120%에서 1분동안 전류 내량을 가져야 한다. 단, 그때의 전동기 토크는 규정하지 않는다.

4) V/f 패턴

정토크 영역에서, V/f 패턴은 선형적인 패턴뿐만 아니고 2승 저감 패턴, 그리고 사용자가 임의로 조절할 수 있도록 사용자 임의 설정 패턴을 구비해야 한다. 그리고 저속 영역에서 토크보상이 가능해야 하고 기저 주파수 설정 기능을 제공해야 한다.

5) 출력 전압

기저 주파수에서 출력 전압의 크기를 50%와 100% 범위 내에서 임의로 조절할 수 있어야 한다.

6) 발전 제동

발전 제동이 요구되는 부하에 적용할 수 있도록 제동저항 연결 단자, 또는 제동 저항과 제동 유닛트(unit)를 연결할 수 있는 단자를 구비해야 한다. 그리고 조건적으로 발전제동 모드에 들어갈 수 있도록 해당 기능을 구비해야 한다.

7) 출력 전류 고조파 함유율

정격 출력 전류에 포함되는 고조파의 함유율(i_{THD})은 최대출력주파수 (50㎐ 또는 55㎐)에서 10%이하이어야 한다.

8) 온도상승

정격 부하 조건에서 인버터를 포화시킨 후, 열이 많이 발생하는 전력 용 반도체 소자, 콘덴서, 구동소자 등에 대해 온도를 측정할 때 표1에 나타난 온도 상승 한도를 넘지 않아야 한다.

표 1. 인버터 항목별 온도 상승 기준
(주위 온도 한도 40℃)

품 명 및 부 품	온도 상승한도 (deg)	
권 선	A종	55
	E종	70
	B종	80
	F종	105
	H종	125
외 합	30	
IGBT, DC_Link 콘덴서, CPU	개별 부품의 최대 허용 온도의 80%를 넘지 않아야 함.	

9) 효율

정격 입력 전압, 정격 부하조건에서 인버터의 효율은 표 2의 기준을 만족해야 한다.

표 2. 효율 기준

구 분	효 율
0.1kW 이상 ~ 7.5 kW 미만	90% 이상
7.5kW 이상 ~ 220 kW 이하	95% 이상

10) 온도에 따른 운전 내구성

인버터 장치는 주위온도 -10℃~40℃에서 인버터의 전 주파수범위(0-50Hz 또는 55Hz)에서 성능에 이상을 주는 현상이 발생하지 않아야 한다.

11) 재시동 및 운전 내구성

정격 부하 조건에서, 정격 속도까지 올린 후 정지시키는 반복 운전패턴으로 운전하였을 때 5회 이상 연속 운전이 가능해야 한다.

12) 내진동

인버터의 전후, 좌우, 그리고 상하 방향에 표3에서 제시한 조건으로 진동을 인가하였을 때 나사의 풀림과 부품의 이탈 등 각부에 이상이 발생하지 않아야 한다.

표 3. 내진동 시험 기준

진동 주파수	진 동 폭	진 동 시 간
40 ~ 55Hz	2mm	1 분

13) 보호기능

13.1 과전류 보호기능

출력전류를 변화시켜 설정치를 넘었을 경우 출력전류를 제한 또는 차단하는 기능을 갖고 있어야 한다.

13.2 과전압 보호 기능

직류전압을 변화시켜 설정치를 넘었을 경우 출력전압을 제한 또는 차단하는 기능을 갖고 있어야 한다.

13.3 부족전압 보호 기능

직류전압을 변화시켜 설정치 이하로 내렸을 경우 출력전압을 차단하는 기능을 갖고 있어야 한다.

13.4 과열보호

주위 또는 부품의 온도가 설정치를 넘었을 경우 입력전원을 차단하는 기능을 갖고 있어야 한다.

13.5 단락 전류 보호

정격 부하에서 운전되는 조건에서 전동기로 인입되는 3개의 전원선 중 임의의 2선을 단락시켰을 때에 인버터를 보호할 수 있는 기능을 갖고 있어야 한다.

14) 써지 내력시험

정상적인 운전조건에서 표4의 값에 따라 인가했을 때 어떠한 동작에도 이상 (오동작, 소자 파손 등)이 없어야 한다.

표 4. 써지 시험 전압레벨

인가방법 (인가 위치)	시험레벨 (인가전압)	조합파발생기 전원임피던스 (지발생장비조건)	교류입력 의 위상
정상모드 (선간)	1 W	2 Ω	최대치를 나타내는 위상에 써지 인가
공통모드 (선-대지간)	2 W	12 Ω	

15) 상용 주파 내전압

2W, 60Hz를 써지 내력 시험 규격에 규정된 인가부위에 1분간 인가시 절연파괴 등의 이상이 발생하지 않아야 한다.

16) 절연 저항

무 전원 상태에서 사시와 입력전원 단자 사이에 DC500V 전압을 인가하였을 때 50M 이상이어야 한다.