特 輯

유압펌프 시험장비에서의 인버터 응용

성 백 주(KIMM 산업기술연구부)

'90. 2 부산대학교 전기공학과(학사)
'92. 2 부산대학교 대학원 전기공학(석사)
'92 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 개 요

유압펌프의 종류에는 유압 Piston Pump, Vane Pump, Gear Pump 등이 있고, 이들 유압펌프의 성능 및 내구성을 시험하는 시험장비는 각각의 펌프에 따라 필요한 시험항목이나 용량에 따라서 조금씩 차이가 나게 구성이 되는데, 일반적으로 크게 나누어 유압동력을 발생시키는 Hydraulic Power Unit, 시험대상물과 여러 가지의 기계장치가 결합된 Test Mechanism, 계측 및 제어장치인 Electric & Electronic Controller의 세부분으로 구성이 된다.

이 중에서 전기모터(전동기)는 Test Mechanism부에 장착된 유압펌프를 구동하고, 유압펌프가 필요로하는 회전수와 토오크(Torque)를 공급·제어하는 역할을 담당한다. 전기모터가 출력하는 회전수와 토오크에 따라 시험대상 유압펌프의 유량과 압력이 변하고 이에따라 성능특성이 변하게 되므로 정확한 시험을 위해서는 전기모터의 정밀한 제어가 요구된다.

유압펌프 시험장비에 사용되는 전동기는 큰 토오크(Torque)와 높은 회전수를 필요로 하는 경우가 많으므로, 1980년대 까지는 토오크 이득이 크고 Drive의 가격이 저렴한 직류전동기가 증속 Gear Box와 결합된 형태로 주로 사용되었으나, 1990년대 이후 부터는 인버터(Inverter) 기술의 눈부신 발달에 힘입어 속도의 한계가 거의없고 높은 토오크를 출력하는 교류전동기가 직류전동기를 대체하여 사용되고 있다.

본 고에서는, 직류전동기 제어시스템(직류전동기+Converter)이나 기계식 가변속 장치(전기모

터+Gear Box)에 비해 상대적으로 우수한 가변속 성능 및 출력특성을 가지고 현재 유압펌프 시험장비의 구동장치로서 주로 사용되고 있는 유도전동기와 인버터에 대한 일반원리 및 그 응용에 대해서 서술하고자 한다.

2. 유압펌프의 특징 및 인버터 운전의 필요성

2.1 유압펌프의 특징

유압펌프의 특징을 규정짓는 요소에는 소요동력, 가변속 운전시의 특성, 배관계의 유량과 소요양정 등이 있고, 이를 바탕으로 해서 펌프의 특성곡선이 그려진다[2].

2.1.1 펌프의 소요동력

$$P = \frac{g \cdot \rho \cdot Q \cdot H}{\eta}$$

P : 소요동력(Kw), Q : 유량(m^3/sec), H : 전양정(m), ρ : 유체밀도(Kg/m^3), g : 중력가속도(m/sec^2), η : 펌프효율

2.1.2 가변속 운전시 펌프의 특성

유량 $Q=Q_0(N/N_0)$, 양정 $H=H_0(N/N_0)^2$, 소요동력 $P=P_0(N/N_0)^3$, N : 가변운전속도, N_0 : 정격속도, Q : 속도 N시의 유량, Q_0 : 정격유량, H : 속도 N시의 양정, H_0 : 정격양정, P : 속도 N시의 소요동력, P_0 : 정격동력

2.1.3 배관계의 유량과 소요양정

$H=H_g+H_d=H_g+k \cdot Q^2$

H_g : 정압양정, H_d : 배관계의 손실양정

2.1.4 유압펌프의 특성곡선

펌프계의 일반적 모델을 그림 1과 같이 표현할 때, 그 특성곡선은 그림 2와 같이 된다. 유압펌프의 운전점은 배관계통(관로, 밸브, 필터 등)의 특성곡선과 펌프의 특성곡선이 만나는 점(Q_N)에서 결정되므로, 유압밸브로써 유량이나 압력을 조절하기 위해서는 펌프의 특성곡선 또는 배관계통의 특성을 변경해야 한다[2].

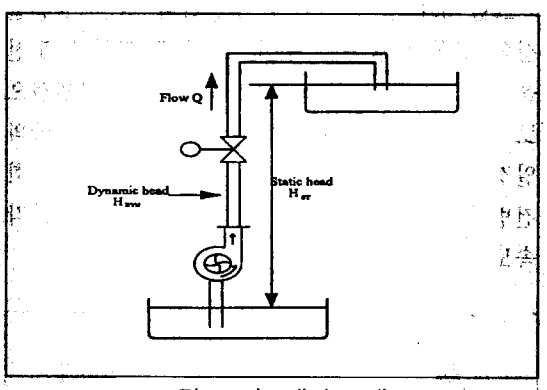

그림 1. 펌프계의 모델

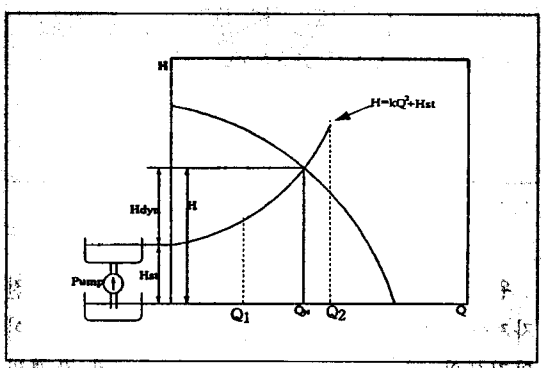

그림 2. 펌프의 특성곡선

2.2 인버터 운전의 필요성

전기모터와 인버터를 사용하여 유압펌프를 구동하게되면 펌프나 배관계통의 특성변경없이 운전점을 Q_1이나 Q_2로 자유로이 이동할 수 있어 운전점 제어가 용이하게 된다. 그리고 다수 펌프의 직병렬 운전을 위한 가변속 운전이 가능하게 되고 유압조절밸브를 사용하여 유량제어를 할 때 보다 펌프의 댓수를 감소시켜주며 안정된 유량공급을 위해 필요했던 오일탱크의 필요성이 감소하게 된다.

3. 3상 유도전동기의 원리

3.1 회전원리

그림 3과 같이 강판을 성층하여 만든 원통철심의 안쪽에 슬롯을 두어 그 속에 절연한 도선을 넣고 øA, øB, øC 3조의 코일을 3상권선으로 하여 여기에 대칭 3상교류를 공급하면 2극의 일정한 크기의 회전자계가 생긴다. 이 자계의 회전방향은 전류의 상회전방향과 동일하고 그 각속도는 전류의 각주파수와 같다[7].

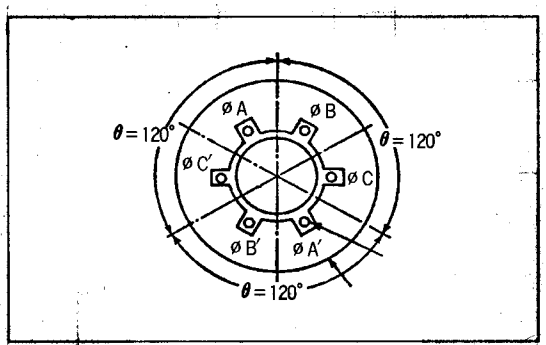

그림 3. 2극 3상권선

원통철심의 내부에 동(銅)원통을 놓으면 회전자계에 의하여 동원통에 와전류가 발생하고, 이 와전류와 회전자계의 상호작용에 의하여 플레밍의 왼손법칙에 따라 동원통에는 회전자계의 회전방향으로 토오크가 발생한다. 동원통이 회전을 시작하면, 이 토오크에 의하여 동원통은 축의 마찰과 평형되어 회전자계의 속도보다 약간 낮은 속도로 회전한다. 이것이 유도전동기의 회전원리이고 실제로는 동원통 대신에 회전자계와 직각방향으로 전류를 흐르게 하여 토오크를 유효하게 발생시킬수 있는 도체를 사용하고, 자기회로의 자기저항을 적게하기 위하여 회전부분에도 철심을 둔다[1]. 유압펌프 구동용으로 사용되는 유도전동기의 회전자에는 코일이 권선되기도 하지만, 회전자의 강도와 운전성능에 비중을 두어 알루미늄이나 동도체를 End Ring으로 연결한 농형(Squirrel Cage)의 도체가 사용되기도 한다.

3.2 유도전동기의 가변속 제어

유도전동기의 속도는 주파수, 극수 또는 슬립으로 가변할 수 있다. 극수변경은 권선형 전동기에 한하여 가능하며 2 또는 3단계의 가변속도만을 얻을 수 있다. 슬립의 조절은 전동기의 1차전압 또는 2차 저항을 조절하거나 2차전압을 조절함으로써 가능하며, 비교적 좁은 범위의 속도조절에 적합하다. 반면 주파수 제어방식은 진정한 의미의 속도제어라 할 수 있으며 속도가변 범위가 넓고 효율이 높으며 응답성이 좋은 장점이 있으므로, 현재 가장 널리 사용되고 있다.

유도전동기에 대한 다양한 방식의 속도제어 방법을 수식적으로 함축하여 표현하면 다음과 같으며, 주파수 가변에 의해서 속도를 조절하기 위해서는 인버터의 사용이 필수적이다.

$$N = \frac{120f}{P}(1-S)$$

N : 회전수(rpm), P : 극수
f : 주파수, S : 슬립

4. 인버터의 작동원리

주파수가 가변된 교류전압은, 상용주파수의 교류전압을 Converter(AC to DC)에 의해서 직류로 변환하고 이것을 인버터에 의해서 교류전압으로 다시 변환함으로써 얻어진다.

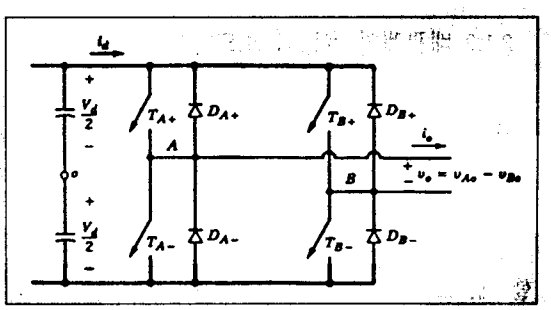

그림 4. 인버터의 구성도

이때 인버터는 Feedback되는 전류에 의해서 정해지는 PWM 신호의 Logic에 따라서 순차적으로 스위칭을 하면서 속도지령에 따른 가변 주파수를 생성해 낸다. 그림 4[5]는 인버터의 구성도를 나타낸다.

그림에서 알 수 있는바와 같이 인버터는 밧데리(Battery)와 스위치로 등가화 할 수 있다. 밧데리는 콘버터(Converter)가 생성하는 DC전압에 등가되고, 각각의 스위치들은 Thyristor나 IGBT 소자에 등가된다. 유압펌프 시험장비에 사용되는 인버터의 스위칭 소자로는 전류가 대용량인 관계로 주로 Thyristor가 많이사용되고 있으나 최근 반도체 제작기술의 발달에 힘입어 대전류형 고속 스위칭 소자인 IGBT로 점차 교체되어 가고 있다.

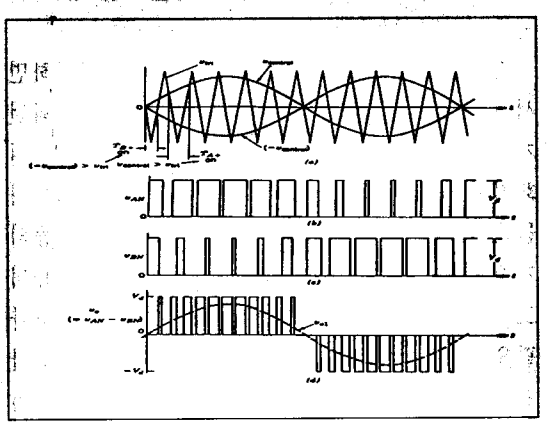

그림 5. PWM 신호의 발생과 교류전압의 생성

PWM 신호는, 그림 5(a)에 나타낸 바와 같이 Control Wave인 Sine파와 Carrier Wave인 Triangle Wave의 비교에 의해서 만들어진다. 즉, Control Wave($V_{control}$)>Carrier Wave(V_{tri})인 구간에서는 그림 4의 스위치 T_{A+}를 Turn On하는 신호가 만들어지고, -Control Wave($V_{control}$)>Carrier Wave(V_{tri})인 구간에서는 그림 4의 스위치 T_{B+}를 Turn On하는 신호가 만들어지게 된다[3][5]. 전기모터의 속도조정을 위한 주파수는 Control Wave의 주파수를 가변함으로써 얻어진다.

5. 유압펌프에 대한 인버터 응용의 장점

유압펌프 시험장비에서 인버터를 사용하여 유량조절을 하게되면 유압밸브만으로 유량을 제어할 때 보다 에너지 절감 효과와 제어성 향상 면에서 두드러진 장점이 있다.

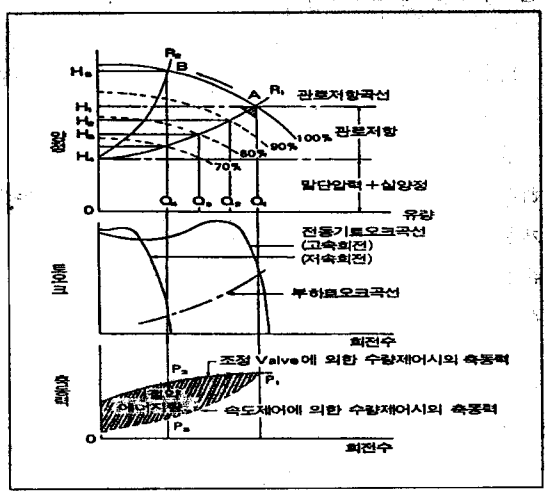

그림 6. 인버터 응용에따른 에너지 절감 효과

5.1 에너지 절감 효과

그림 6[4]은 그림 2 유압펌프의 특성곡선을 사용하여 에너지절감의 원리를 설명하기 위해서 나타낸 그림이다.유압펌프의 유량변화에 동반해서 관로 말단에서의 압력이 항상 일정하게 되도록 펌프의 회전수를 90%, 80%, 70%로 감소시킨 경우 그림 9의 점선이 보이는 특성이 된다. 유량이 Q2일 때 회전수는 90%, 유량이 Q3일 때 회전수는 80%로 펌프가 운전을 하는셈이다. 이것에 대해서 양정도 H1, H2, H3, H4로 하강한다. 이때 축동력은 P1에서 P3로 변화한다. 인버터를 사용한 전기모터의 속도제어에 의해서 유량조절을 하면, 조절밸브에 의한 제어와 비교해서 밸브저항에 의한 손실이 없기 때문에(P2-P3)만큼 축동력이 작게되고 따라서 에너지 절감효과를 가져오게 된다.

5.2 제어성 향상

인버터를 사용한 펌프제어는 유량, 압력, 수위를 일정하게 유지할 수 있고, 다른 프로세서와의 연계제어가 용이하며, 특히 토오크 제어는 Full Scale의 1 : 1000까지 제어가 가능하며, 속도제어는 최대 1 : 20000까지 제어가 가능하다.

5.3 생산성 향상

유도전동기의 슬립보상을 하면서 설비가 허용하는 최고의 속도로 운전할 수 있으며 직류제동, 제동쵸퍼 등의 전기적 제동장치를 사용하여 급속한 제동이 가능함으로써, 생산성을 향상시킬 수 있다.

5.4 유지보수 비용절감

Test Mechanism을 구성하는 배관 계통의 마모를 감소시켜 수명을 연장시킬 수 있으므로 유지보수 비용이 절감된다.

6. 유압펌프의 제어정도에 따른 인버터 응용

인버터는 용량과 제어정도에 따라서 그 종류가 매우 다양하고 가격차이도 많이 나므로, 유압펌프 시험장비를 구성할 때는 시험대상 유압펌프의 용량과 필요로하는 속도 및 토오크의 제어정도를 충분히 고려하여 인버터를 선정해야만이 최적의 시험결과를 얻을 수 있는 것은 물론이고, 비용 또한 절감할 수 있다.

6.1 나사펌프(Screw Pump)용 인버터

나사펌프는 나사가 달린 축이 회전하여 유량을 공급하는 펌프로써, 윤활유나 각종 기름을 송출하는 용도로 사용되므로 제품시험시에 낮은 수준의 제어정밀도 만으로도 충분하다. 이러한 수준의 제어정밀도를 요구하는 유압펌프 시험장비에는 스칼라(Scalar) 인버터가 적합하며, 그 구성도를 그림 7에 나타내었다.

6.2 기어(Gear) & 베인(Vane)펌프용 인버터

기어펌프는 두 개의 기어가 맞물려 회전하면서 유량을 공급하는 펌프이고, 베인펌프는 회전자(Rotor)에 방사상으로 설치된 베인(Vane)의 회전에 의해서 유량을 공급하는 펌프이다[8]. 이들은 주로 공작기계, 프레스, 사출성형기 등의 기계장비에서 유압유를 공급하는 용도로 사용되고 제품시험시에는 중급 정도의 제어정밀도를 필요로 한다. 이러한 중급 수준의 제어정밀도가 필요한 유압펌프 시험장비에는 벡터(Vector) 인버터가 적합하며, 그 구성도를 그림 8[2]에 나타내었다.

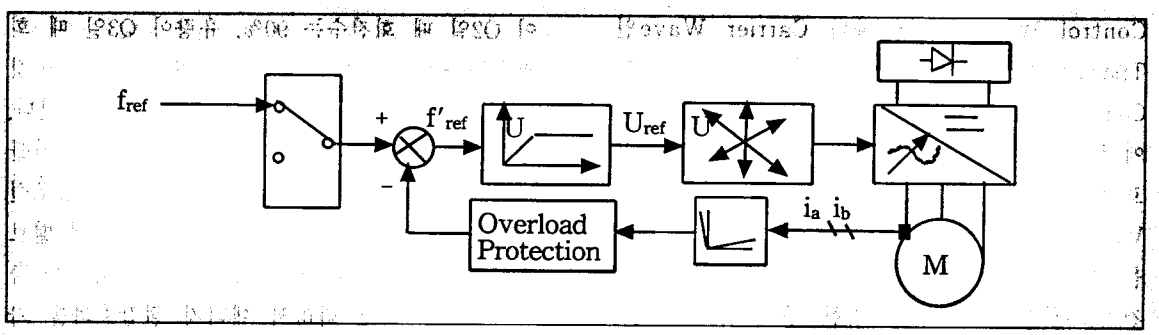

그림 7. 스칼라 인버터의 구성도

6.3 유압피스톤(Hydraulic Piston)펌프용 인버터

유압피스톤펌프는 피스톤의 왕복운동에 의하여 펌프작용을 하는 누설유량이 거의 없는 매우 정밀한 유압펌프이다. 이 펌프는 고압과 고속의 유체를 필요로하는 건설중장비 분야와 일반산업기계 분야에 매우 광범위하게 사용되고 있으며, 제품의 시험조건 또한 까다로워 매우 높은 수준의 정밀도를 필요로 한다. 이러한 고도의 정밀도가 요구되는 유압펌프 시험장비에는, 유도전동기의 토오크와 속도를 개별적으로 직접 제어할 수 있는 DTC(Direct Torque Control) 인버터가 적합하며, 그 구성도를 그림 9[6]에 나타내었다.

7. 인버터의 성능 요약

이상에서 서술한 바와 같이, 유압펌프 시험장

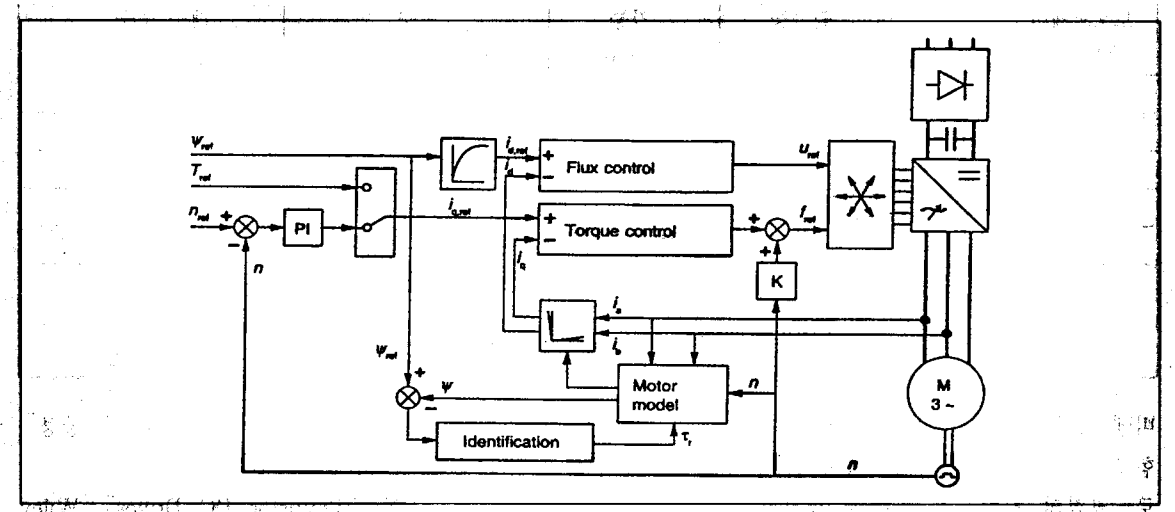

그림 8. 벡터인버터의 구성도

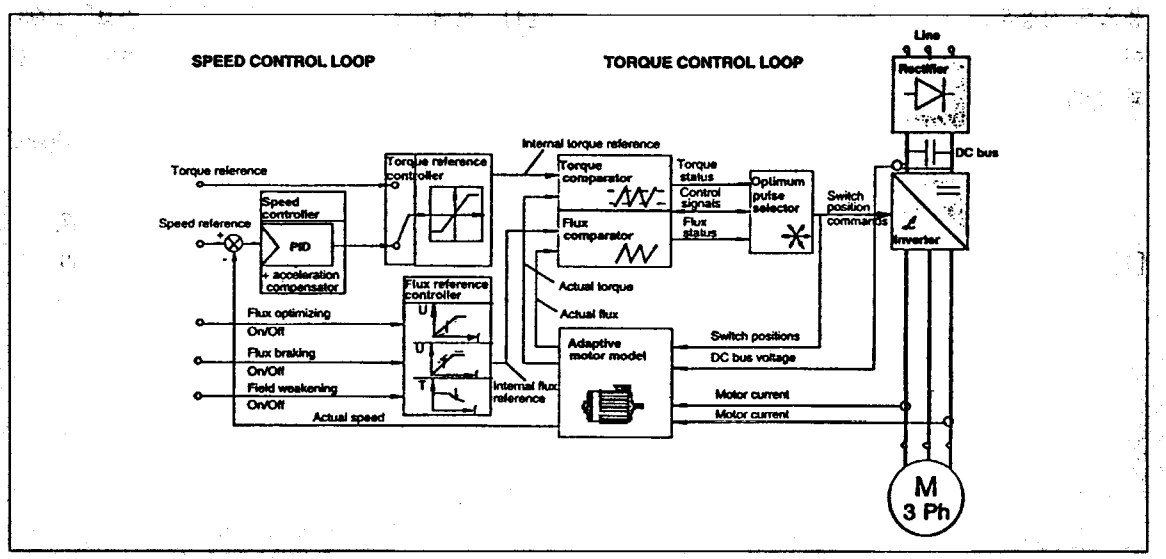

그림 9. DTC 인버터의 구성도

표 1. 인버터의 일반적 성능 비교

비교항목	범용 인버터		벡터제어 인버터	DTC 인버터
적용전동기	유도전동기		유도전동기	유도전동기
제어방식	P.W.M		P.W.M	P.W.M
	V/F 일정제어	자속벡터 일정제어	벡터제어	벡터제어
속도제어 성능				
- 제어범위	1:10~1:40	1:40	1:1000	1:20000
- 정상상태정도	2~3%	0.05%	0.03%	0.01%
- 동특성	-	3%sec	0.3%sec	0.2%sec
토오크제어	불가능	가능	우수	매우 우수
- 응답시간	-	150msec	20msec	1~5msec
급가속 성능	곤란	양호	우수	매우 우수
4상한 운전	제동쵸퍼		제동쵸퍼	제동쵸퍼
운전효율	양호		우수	매우 우수
전원역율	90%이상		90%이상	95%이상
가격	100(기준)	140	180	210
적용 유압펌프	나사펌프	기어펌프 베인펌프 나사펌프	베인펌프 기어펌프	피스톤펌프 베인펌프 기어펌프

비에 응용되는 인버터는 시험대상 유압펌프의 시험조건과 용량에 따라 그 종류가 매우 방대하므로, 최적의 시험결과 도출과 경제성을 고려하여 신중히 선택해서 사용해야 한다. 유압펌프 시험용으로 사용되는 인버터를 크게 세가지로 분류하여 그 일반적 성능을 비교하면 다음의 표 1[2][6]과 같다.

참 고 문 헌

[1] Fitzgerald, "Electric Machinery", McGraw Hill, 1987.

[2] 효성ABB, "인버터의 일반원리 및 응용", 1994.

[3] P.C SEN, "Thyristor DC Drives", Wiley Interscience Publication, 1987

[4] 현대중공업, "현대 인버터 기술자료", 1998.

[5] 과학기술 정보연구소, "전력전자회로와 인버터 설계기술 및 응용", 1993.

[6] ABB, " Frequency Converters for Speed and Torque Control", 1997.

[7] 윤병도, "신제 전기기기", 문운당, 1987.

[8] 하재현, "최신 유압공학", 청문각, 1989.