

대형 유도전동기의 속도제어기술

김 광 배

(KIST 제어시스템 연구실장)

1. 서 론

1970년대에 불어닥친 제1차, 2차 oil shock는 에너지 절약에 대한 사회적 기술적 관심을 일깨워 주었으며, 최근 다시 3차 oil shock의 엄습에 대한 예측과 징후가 계속 일어나고 있는 이 시점에서 전기에너지 절약 기술의 확립은 시급한 국가적 과제로 대두되었다. 전체 전기에너지의 약 60%가 산업 구동력으로 이용되고 있으며 각종 전동기가 소비하는 이 산업구동 전력의 약 80% 이상을 유도 전동기가 차지하고 있기 때문에 전기에너지의 절약은 바로 유도 전동기 구동 시스템의 에너지 절약기술이 중심이 된다[1]. 이러한 유도 전동기의 부하로는 pump, fan, blower등 유체이송 장치가 약 80% 정도를 차지하고 있고[1], 이 유체 이송 장치는 인버터에 의한 회전수 제어로 운전 패턴에 따라 고정식 제어에 비해 약 30~70%의 전기에너지를 절약할 수 있다[2, 3].

유도 전동기의 속도 제어장치인 전류형 인버터(ASCI; Autosequentially Commutated Current Source Inverter)에 대한 연구는 1970년대초부터 시작되었으며, 이 장치는 회로구성이 간단하고 전기적으로 견고한 전력회로이기 때문에 중 대용량 인버터 시스템으로 많이 사용되어 왔다. 그러나 고압 대용량 응용을 위해서는 기존의 전류형 인버터(ASCI)보다 전력회로가 더욱 단순화되어야 하기 때문에 1980년대 초반부터 동기 전동기 구동용 인버터(Load Commutated Inverter)을 원용한 負荷轉流식 전류형 인

버터(LCCSI; Load Commutated Current Source Inverter)를 개발 사용하기 시작하였다.[4, 5]. 이 시스템의 개발 및 상품화는 미국의 G. E., Rosshill controls, Westinghouse등을 중심으로 주도적으로 수행되어 왔다. 이 LCCSI시스템은 특히 Transformerless high voltage high power current source inverter의 형태로 생산되고 있으며, 사용되는 전력용 스위칭 반도체 소자로써 SCR이나 GTO를 사용하여 각 회사마다 고유의 시스템을 개발 제작하고 있다.

2. 대형 유도 전동기의 속도 제어

2.1 대형 유도 전동기의 특성

대형 농형 유도 전동기의 일반적인 특성으로는 저, 중용량 전동기에 비해서 기동토크가 상대적으로 감소하며, 최대 토크가 발생하는 회전자 속도가 동기 속도에 가까워진다. 따라서 전전압 기동시 용량이 증가함에 따라 정격 속도에 다다른 시간, 즉 기동 시간이 길어지기 때문에 전동기의 회전축, coupling devices, 기어 등이 기동중에 발생하는 토크 oscillation 및 과도 현상에 의해 과도한 기계적 stress를 받을 수 있다. 정격 슬립은 용량이 증가함에 따라 감소하고, 정상 상태에서의 속도-토크 특성 곡선의 음의 기울기 부분이 더욱 가파라지므로 안정 영역에서의 운전시에는 용량이 클수록 부하 토크 변화에 대한 전동기 속도의 변화량은 적어진다. 또한 전 영역에서 최대 토크 운전을 행하고 전전압 기동

시 발생하는 과도한 기계적 overstress를 피하기 위해서는 가변 전압 가변 주파수 방식인 인버터 운전이 더욱 요구되어 진다.

2.2 속도 제어 장치의 종류 및 특성

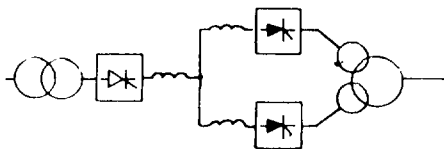
fan, pump, blower, compressor 등과 같은 2승 저감 토크 부하에 적용하기 위한 대형 유도 전동기 구동용 인버터는 다음과 같이 여러가지 형태가 있다[4].

- (1) 출력 변압기를 사용한 多重인버터
- (2) ASCI
- (3) LCCSI
- (4) GTO 電流形 인버터
- (5) GTO 電壓形 인버터

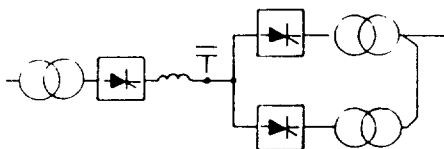
위에 열거한 인버터들의 공통된 특징은 교류 전원을 직류로 일단 변환시키고 나서 다시 직류 전원을 교류전원으로 역변환시키는 구조로서 DC Link를 가지고 있다는 점이다. 또 전류형 인버터 시스템은 기본적으로 별도장치의 추가없이도 회생제동 운전이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 이하에서 간략하게 각 시스템의 기본구조와 특성에 대하여 기술한다.

2.2.1 多重 인버터

대용량 시스템에서 단기 인버터 용량을 줄이고 전동기에 정현파 전원을 공급하기위한 목적으로 여러대의 인버터들을 출력변압기를 통하여 다중 접속시



a) 多重電流形 인버터



b) 多重電壓形 인버터

그림 1. 多重 인버터

키는 시스템으로 그림 1과 같다. 이 방식은 전압형, 전류형 모두 가능하며 多重 연결되는 인버터의 수가 많을수록 출력 전원은 정현파에 가깝게 된다. 지금까지 고압 대용량 분야에 많이 사용되어온 시스템이다.

2.2.2 ASCI

1971년에 phillips와 Maag가 각각 제시한 방식으로 전류형 인버터를 대표하는 시스템이며 그림 2와 같다. 스위칭 반도체 갯수가 너무 많고 속도 feedback이 반드시 필요하다는 제약이 따른다. 대개 1,000HP이하에서 주로 사용되어 왔으며 최근, 2,500HP까지도 출현하고 있다.

2.2.3 LCCSI

80년대 들어와 Westinghouse, Rosshill, General Electric등에서 개발하기 시작한 시스템으로서, 동기 전동기의 Load Commutated Inverter 시스템과 유사하게 구성되어 있으며 그 기본구조는 그림 3과 같다. 인버터가 유도전동기의 고정자 전압에 의해서 轉流될 수 있도록 하기위해서 인버터 출력단에 캐패시터를 연결시킨다. 이 캐패시터는 인버터 출력의

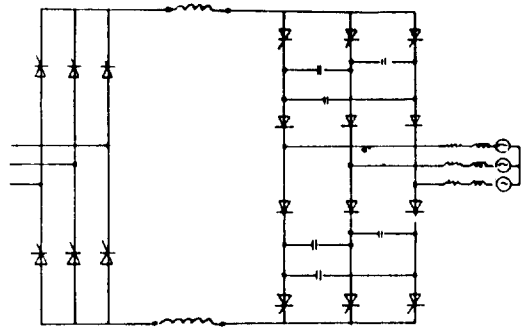


그림 2. ASCI

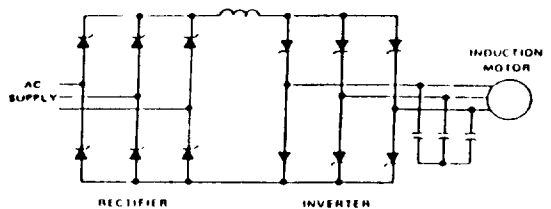


그림 3. LCCSI

역율을 진상으로 만들뿐만 아니라 filter역할도 하여 전동기에 공급되는 전압, 전류를 정현파에 가깝게 만든다[6, 7].

대개 용량범위는 1,500-12,000HP급이며, 전동기 속도가 낮은 경우는 캐패시터가 공급할 수 있는 진상 전류가 적기 때문에 인버터가 강제 轉流되어야 한다. 이 강제 轉流 방식은 여러가지로 고안되어 있으나 결국 이 점이 회로를 복잡하게 만든다.

2.2.4 GTO 電流形 인버터

자기 소호형 소자를 전류형 인버터에 사용하는 것으로서 ASCI및 LCCSI시스템에 비해 훨씬 간단하고, 유연성있는 회로방식으로 그림 4와 같다. 전압형 인버터에서 이용되고 있는 여러가지 PWM패턴들

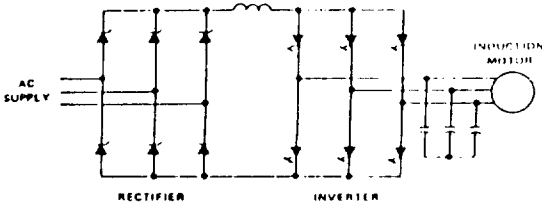


그림 4. GTO 電流形 인버터

을 적용하여 PWM전류형 인버터로 실현되고 있다. 전반적인 기능과 구성은 SCR을 사용한 LCCSI와 동일하나 다만 저속도 영역에서 별도로 부가되는 강제 電流回路가 불필요하다는 점이 다르다. 현재의 용량 범위는 10,000HP 정도까지이다 [8, 9].

2.2.5 GTO 電壓形 인버터

최근 Toshiba에서 개발한 것으로서 PWM전압형 인버터에 스위칭 소자로 GTO를 사용하였으며 그림5

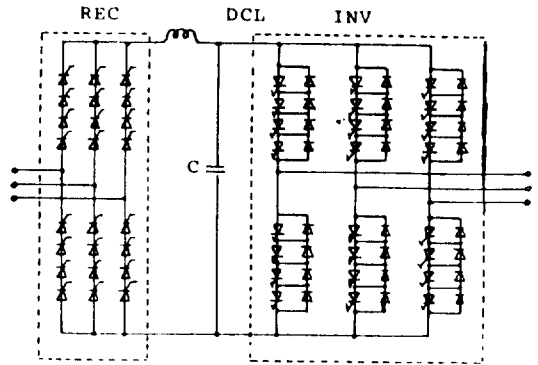


그림 5. GTO 電壓形 인버터

표 1. 제조 회사별 제품 현황

구 분	G. E.	Rosshill	ABB	Westinghouse
스위칭소자	GTO	SCR	GTO	SCR
Type	CSI	CSI	VSI	CSI
공급대수	58	83	110	-
최대용량	7,200 HP	10,000 HP	5,000 HP	-
최대전압	4,160V	7,200V	3,300V	-

표 2. 고압 대용량 인버터의 국내 도입 현황

회 사 명	대 상 기 기	인버터 용량	대수
고려아연	ID Fan, 2100kW	3.3 KV, 2100kW	1
	SO ₂ Blower	3.3 KV, 1900kW	1
	QSL Tilting	3.3 KV, 1079kW	1
포항제철	Blower	3.3 KV, 500kW	2
인천제철	Blower	3.3 KV, 1750kW	2
한국전력	평택화력, FDF	4.16KV, 2400kW	2

와 같다. 단기용량 5,000KVA급까지 가능한 것으로 되어 있으나 회생 제동시 역방향 controlled rectifier가 부가되어야 한다[10].

다음 표1은 유도전동기용 고압 대용량 인버터를 생산 공급하고 있는 주요 제조 회사별로 인버터의 형태 및 최대 용량등을 요약한 것이고, 표2는 현재 국내에 도입된 시스템의 현황을 정리한 것이다.

2.3 고압 대용량 인버터 적용시 유의점

2.3.1 commutation surge에 의한 절연내력의 열화

인버터가 電荷電流를 轉流시킬 때, 출력에는 surge전압이 발생한다. 이 높은 commutation surge 전압이 계속 반복적으로 전동기에 가해지면, corona에 의해 절연열화가 급속히 진행된다. 따라서 commutation surge 전압을 포함한 파고치를 정격 전압치의 약 1.2배 이내로 억제시킬 필요가 있다[11].

2.3.2 고조파 손실

고조파 전압/전류에 의한 손실은 도체내의 동손과 철심중의 철손으로 나타나며, 만일 저차 고조파(5차 및 7차)가 존재하는 경우는 특히 회전자측의 동손이 크게 증가한다. 또, 대형 전동기에서는 도체 사이즈가 크기 때문에 표피효과에 의한 국부 가열현상이 일어나기 쉬우므로 저차 고조파 성분을 적극적으로

제거시켜야 한다.

2.3.3 냉각효과의 저하

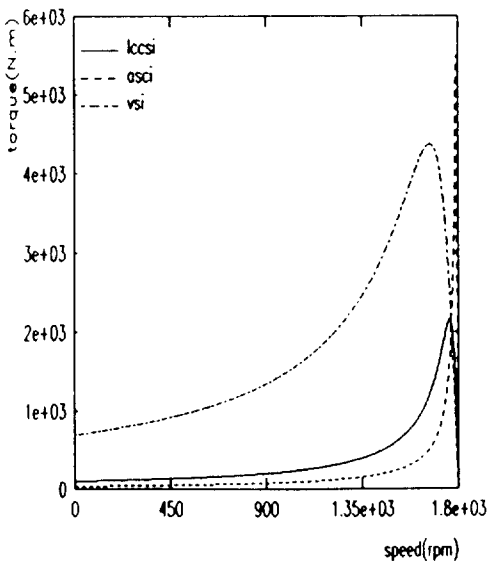
저속도 영역에서 운전하려는 경우, 부하에 따라서 자기 냉각 fan만으로는 냉각능력이 충분치 못한 경우가 있다. 부하의 토크-속도 특성이 일정 토크 부하인 경우는 저속영역에서는 냉각능력이 부족하고, 2승 저감 토크 부하인 경우는 자기 냉각 fan만으로도 충분하다.

2.3.4 맥동 토크의 영향

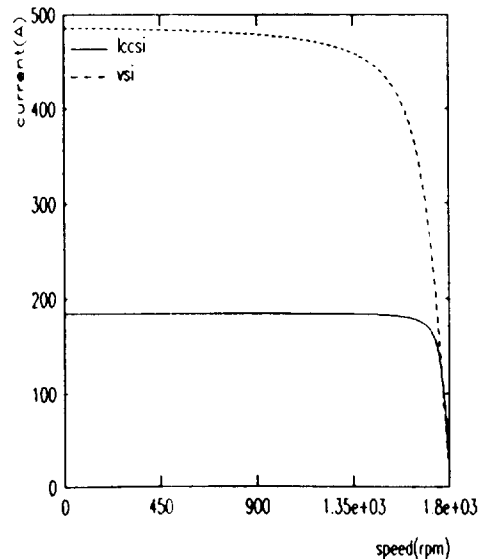
저차 고조파 전류는 각 해당 주파수의 맥동 토크를 발생시키고, 이 맥동 토크의 주파수와 부하 기계의 고유 진동수가 일치하면 기계시스템 전체가 공진이나 비트현상을 일으키게 되므로 이에 대한 대책이 필요하다. 우선은 맥동 토크의 발생 자체를 억제하는 것이 필요하고, 다음으로는 coupling 재질을 바꾸어 기계계 고유 진동수를 변동시키거나, 인버터 운전시 이 주파수 영역을 통과 운전할 필요가 있다.

3. LCCSI의 일반적특성

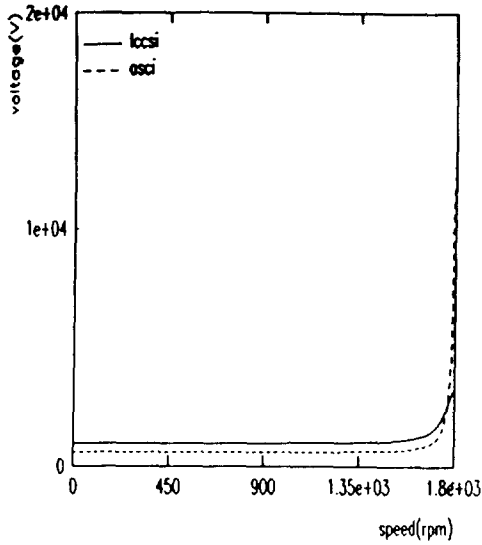
2절에서 설명한 바 있는 負荷 轉流式 SCR電流形 인버터로 3상 2300V, 500HP 유도 전동기를 구동하는 경우의 정상 상태 특성에 대하여 살펴보기로 하



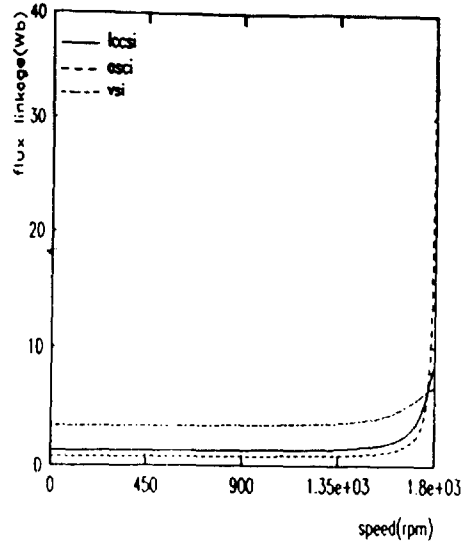
a) 속도-토크



b) 속도-전류

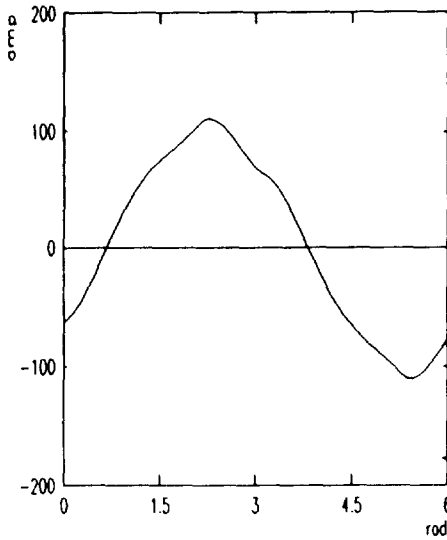


c) 속도-전압

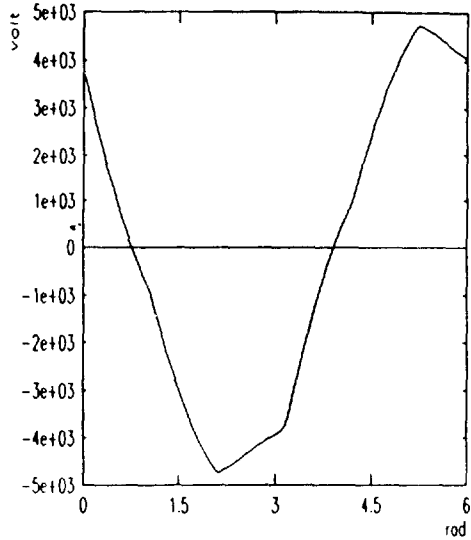


d) 속도-공극자속

그림 6. LCCSI의 정상상태 특성



a) 전동기 전류



b) 전동기 전압

그림 7. 정상상태에서의 전압 및 전류 파형

다. 정상 상태에서의 전동기 속도에 대한 토크, 고정자 전류, 고정자 전압, 공극 자속 등의 특성은 그림 6과 같다[12, 13].

LCCSI는 전류형 인버터임에도 불구하고 전압형 인버터의 속도-토크, 속도-전류의 특성과 대단히 유사함을 알 수 있다. 이러한 결과는 그림 6의 c), d)의

결과로부터 기인하는 것인 바, 출력 캐패시터의 작용으로 전동기 고정자 전압이 작은 슬립 영역에서 전동기의 정격 전압 부근에 머물고 있기 때문에 ASCI와 크게 다른 특성을 보여 주고 있는 것이다. 그림 6의 d)는 ASCI가 작은 슬립 영역에서 자기 포화를 일으키는 반면, LCCSI는 안정된 자속 준위를

유지하고 있음을 보여주고 있다.

다음 그림 7은 LCCSI-유도 전동기 시스템을 60 Hz로 운전하는 경우 전동기의 선간 전압 및 선전류를 나타내고 있다. 이 그림으로부터 거의 정현파에 가까운 전압, 전류 파형이 전동기에 인가될 뿐만 아니라, 轉流 Surge가 발생하지 않고 있음을 알 수 있다[14, 15].

4. 결 론

국내의 경우 중, 소용량 급 유도 전동기의 속도 제어장치에 대한 연구는 각 관련 분야에서 꾸준히 진행시켜오고 있는 반면, 대형 유도 전동기의 속도 제어 시스템에 대한 연구 개발은 아직 미답의 분야로 되어있다. 절연 협조 문제, 실장 기술 문제등 고압 대형 전력 전자 기기의 제반 engineering기술의 미숙함과 시스템의 제어특성에 대한 이론적인 해석의 불충분함등의 현안적인 문제점들은 앞으로 산, 학, 연 공동 연구로 충분히 해결될 수 있을 것으로 믿는다.

참 고 문 헌

[1] A. H. Bonnett, "Understanding Efficiency in Squirrel Cage Induction Motor," IEEE IA16, PP 476~483, July/Aug. 1980
 [2] H. N. Hickok, "Adjustable speed-A tool for saving energy losses in pumps, fans, blowers, and compressors", IEEE, IA 21, No. 1, pp. 124~136, 1985
 [3] 福井良夫, "送風機の省電力—可變風量制御", OHM,

pp. 73-80, July, 1979

[4] I. D. Hassan, "A Guide for selection and application of large adjustable speed drives". IEEE, IAS Conf. Record, pp. 468~476, 1987
 [5] Watson, D. B. : "Performance of induction motor driven from self-commutating inverter", IEEE Proc. B. Electr. Power Appl., 1980, 129(5), pp. 248-250
 [6] Technical manual, Variable speed motor drives, Rosshill controls
 [7] Descriptive Bulletin-ACCUTROL 12000, Westinghouse
 [8] Technical manual for GTO inverter, General Electric
 [9] Espelage, P. M., Nowak, J. M., and Walker, L. H. : "Symmetrical GTO current source inverter for wide speed range control of 2300 to 4160V, 350 to 7000hp, induction motors", IEEE Ind. Appl. Soc. Conf., 1988, pp. 302-307
 [10] 茂瀬忠男, "高壓 GTOインバータの特長と應用", 電氣計算 3, 1988
 [11] 村山哲雄, 伊原昭夫, "大容量ポンプ,ブロワの可變速化の留意點", 明電時報 Vol. 176, No. 3, 1984
 [12] 송중호, 윤태웅, 김권호, 김광배, "부하전류식 전류형 인버터 유도전동기 시스템의 제어특성", 전기학회 논문지, 39권, 10호, pp. 1029~1036, 1990
 [13] 김광배외, "고압 대용량 전류형 인버터의 개발", 한국 과학 기술 연구원, 2차년도 보고서, 1990
 [14] 송중호, 윤태웅, 김광배, "유도 전동기용 부하 전류식 전류형 인버터의 해석", 대한 전기학회 '89추계 학술대회 논문집, pp. 313~136
 [15] 김광배외, "고압 대용량 전류형 인버터의 개발", 한국과학기술연구원, 1차년도 보고서, 1989