

특집 : 철강산업에서의 전력전자기술

압연공정에서의 전력전자기술 응용

설 승 기

(서울대학교 전기 컴퓨터 공학부)

1. 서 론

압연공정은 제철소의 여러 공정 중에서도 가장 중요한 공정의 하나이며 대용량의 전동기 구동이 필요한 공정이다. 역사적으로 전동기 제어용 전력전자 기술이 발달하기 전인 1960년 이전의 제철소에서는 그림 1과 같은 유도 전동기, 직류 발전기, 직류전동기로 이루어지는 워드 레오나드 시스템(Ward-Leonard System)에 의해 직류 전동기의 속도와 토크를 제어함으로써 공정이 요구하는 속도와 압연력에 대응하였다. 특히 두꺼운 강철판의 압연 시 발생하는 충격 부하(Impact Load)에 대한 속도 변동을 억제하기 위하여 유도기와 직류 발전기의 연결 축에 대용량의 기계적 관성을 설치하여 충격 부하 시 기계적 관성에 축적된 에너지를 이용하는 일그너(Ilgrner) 시스템이 사용되기도 하였다.

1960년대 이후 전력용반도체-다이리스터가 개발되어 압연용 전동기 구동시스템은 그림 2와 같은 다이리스터를 이용하는 정지형 워드-레오나드(Static-Ward Leonard)시스템으로 발전되었다. 이러한 정지형 시스템에 의해 효율 및 유지 보수

가 간단해지고 설치 면적을 줄일 수 있게 되고 또한 속도 및 토크제어의 동특성을 개선할 수 있어 공정의 효율을 향상시킬 수 있었다.

1980년 이후 대용량 전력용 트랜지스터의 발전으로 인하여 압연 공정에서 소용량의 보조 압연기 등을 중심으로 교류 전동기가 사용되기 시작하였고 1990년대 이후에는 대용량 GTO(Gate Turn-Off) 소자의 발전으로 인하여 주압연용 전동기를 포함한 대부분의 신규 설비는 전부 교류 전동기 구동 방식으로 대체되었다.

교류전동기 구동에 있어 1000kw 이하의 구동 시스템에서는 주로 유도전동기가 사용되고 있으며 1000kw이상의 대용량에서는 동기 전동기가 주로 사용되고 있다.

1990년대 말 이후 IGCT, IEGT로 불리는 대용량 고성능 전력용 반도체가 개발되어 수MW이상의 교류 전동기 구동에 있어서도 1980년대의 소용량 서보 전동기가 제공하던 제어 특성의 구현이 가능하게 되었다.

제어 알고리즘을 구현하는 방식은 초기의 개개의 트랜지스터와 다이오드를 사용하는 아날로그 방식에서 연산 증폭기(OP.Amp)를 이용하는 직접화된 아날로그 방식, 최근에는 전 제어회로가 몇 개의 디지털 신호처리기(DSP)로 구성되는 완전 디지털 제어 방식으로 발전하여 복잡한 알고리즘의 구

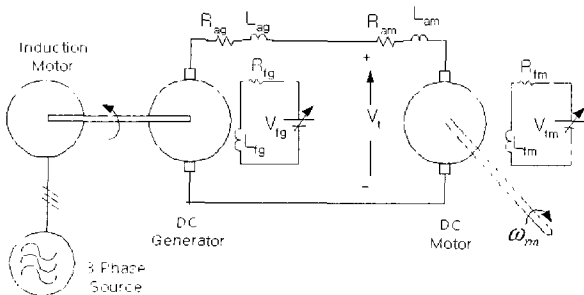


그림 1. 워드-레오나드 시스템

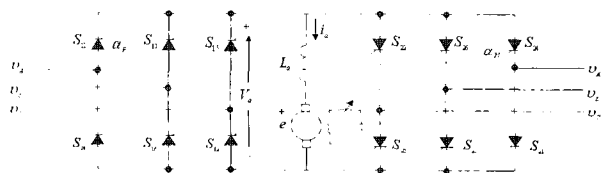


그림 2. 정지형 워드-레오나드 시스템

항목	년도	1960년	1970년	1980년	1990년	2000년
시스템의 장점	1960년	외란에 대한 강인성				
	1970년		효율 향상			
사용 전 동기	1960년	유도기 직류발전기 직류전동기				
	1970년		직류기			
전력 변환 방식	1960년	워드 레오나드				
	1970년		경지드 워드 레오나드			
제어 요소 구현 방식	1960년	기계적 수동제어				
	1970년		아날로그 OP Amp			
1980년			아날로그 디지털 혼합			
				Full Digital		
1990년				3Level NPC인버터		
					PWM Converter + Inverter	
2000년						
속도 제어 특성	정밀도	0.25%	1%	0.25%	0.05%	0.01%
	응답 주파수	2rad/sec	15~20rad/sec	60rad/sec		120rad/sec
	속도 제어 범위	1:25	1:40	1:200	1:1000	1:2000
	토크 맥동			0.5%		

그림 3. 압연기 구동용 전동기 제어 시스템의 발전

성도 가능하게 되었다. 이상의 발전과정을 그림으로 나타내면 그림 3과 같다²⁾.

향후 전력용 반도체의 대용량화, 고속화에 의해 제어 성능은 더욱 향상되어 질 것으로 생각된다. 압연 공정에서의 전력 전자 기술은 매우 다양하게 적용되고 있으나 본 고에서는 저자가 경험한 몇 가지 기술에 대하여 언급하고 그 발전 방향을 논하고자 한다.

2. 대용량 전동기 구동시스템

그림 4는 저자의 연구실과 주식회사 포스코이 공동 연구 개발하여 광양 제4냉연 공장에 설치한 Recoil 공정에 사용된 전동기 구동 시스템이다. 1995년 당시 최대용량의 IGBT를 사용하여 250KVA의 전력 변환부(Power Stack)를 구성하고 이러한 전력 변환부를 병렬로 연결하여 700kw의 주전동기 구동시스템을 개발하였다. 그러나 현재 단일 IGBT의 전압, 전류 용량의 3300V, 1200A를 넘어서고 있어 그림 5와 같은 형태의 NPC(Natural Point Clamped) 구조의 인버터 방식을 채용할 경우 별도의 소자, 직병렬 없이도 3MW급의 전동기 구동이 가능하다. 또한 전력 소자를 IGCT 또는 IEGT로 변경할 경우 8MW급의 전동기 구동도 가능하다³⁾. 또한, 교류 전원과의 연계에 있어 PWM 승압형 정류기를 사용함으로써 전원의 기본파 역율을 항상 1로 유지할 수 있고 저차(Low

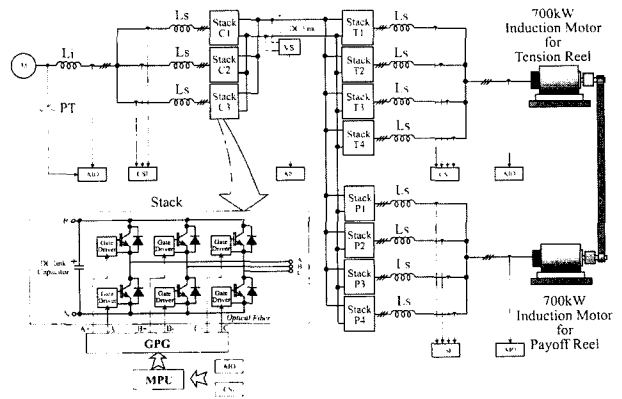


그림 4. 광양제철소 정정공정(Recoil Line)의 전동기 구동 시스템

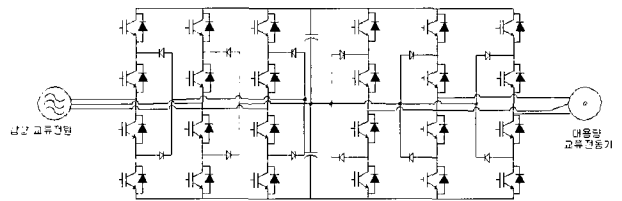


그림 5. NPC 인버터/컨버터를 이용한 대용량 압연 전동기 구동 시스템

Order) 고조파를 억제할 수 있어 전원에 미치는 악 영향을 최소화 할 수 있다.

3. 속도/위치센서 없는 벡터 제어

압연용 주 전동기 또는 보조 전동기는 최소 수십(rad/sec) 이상의 속도 제어 대역폭(Band-Width)과 토크 제어 정밀도가 1% 이내이어야 하고 토크 맥동 역시 0.5% 이내이어야 한다. 그러나 압연 공정 중에서 철판을 이송하는데 쓰이는 대차(Table) 구동용 전동기의 경우 속도 제어 정밀도는 1% 이내

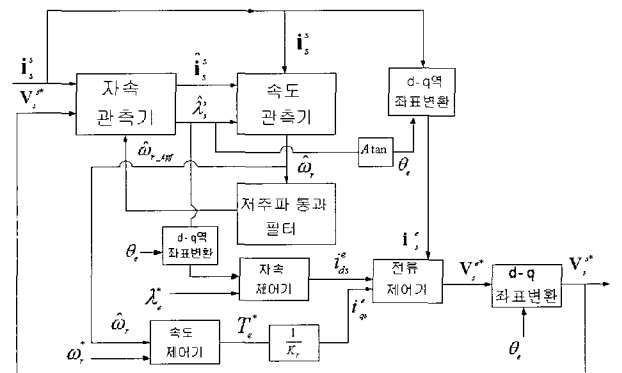


그림 6. 적응 제어 방식의 센서리스 제어 블록도

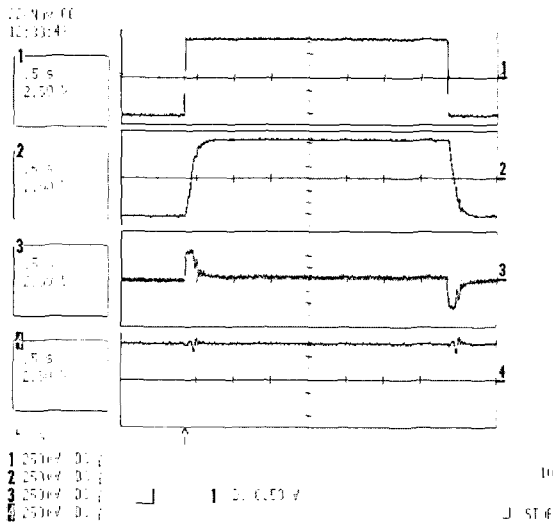


그림 7. 센서리스 제어에 의한 유도전동기의 정역 운전 (-40Hz→40Hz → -40Hz), 위로부터 기준속도(-1500r/min ~ 1500r/min), 실제속도 (-1500r/min ~ 1500r/min), q축전류(-30A~30A), d축자속(-0.6wb~0.6wb).

이런 충분하고 토크 제어 정밀도 역시 10% 이내이면 충분하다. 또한 이러한 전동기는 압연 공정에서 그 갯수가 매우 많고 주변 환경이 열악하므로 각각의 전동기로부터 위치/속도 센서를 폐환(Feedback) 받아 제어하는 것은 유지 보수 상에 있어 매우 불리하다. 이러한 전동기 제어에 있어 그림 6과 같이 위치/속도 센서 없이 적응 제어 방식의 속도 관측기를 구성하여 백터 제어함으로써 요구되는 제어 성능을 얻을 수 있다⁴⁾.

그림 7은 이러한 제어 방식을 광양 제철소 제2냉연 공장의 연속 소둔 공정의 테이블 전동기 구동에 적용한 경우의 실제 파형이다. 속도/위치 센서가 없음에도 불구하고 만족스러운 정역 운전 특성을 나타내고 있다.

4. 전압 변동에 대한 대책

철강 압연 공정에서 10msec 정도의 짧은 정전에서도 압연 공정이 멈출 수 있고 이에 따라 압연중인 철판이 압연 롤(Roll)에 응착하는 등의 막대한 피해가 발생할 수 있다⁵⁾. 이를 방지하기 위하여 압연 공정에 사용되는 전력전자 설비 및 제어설비는 순시 정전에 대해 강한 특성을 갖추어야 한다. 통상적인 전원 설비인 차단기(Breaker), 자기식 접촉기(Magnetic Contactor)에 있어서도 그 종류와 설정치를 바꿈으로써 전압변동에 대해 강한 특성을 얻을 수 있으며, 인버터 등은 직류단(DC Link)의 캐패시터 용량을 늘리고 연산 제어(PLC) 장치는 무정전 전원장치로 전원을 공급함으로써 정전에 강한 시스템을 구성할 수 있다. 최근 발달된 전력전

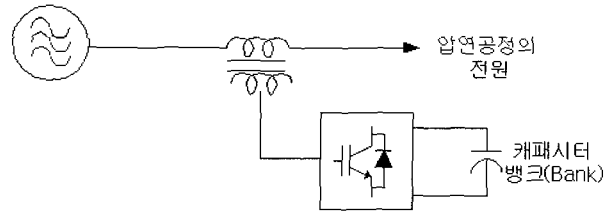


그림 8. 3상 순시 전압 보상기 (3 Phase Dynamic Voltage Restorer)

자 기술을 이용하여 그림 8과 같이 순시 전압 보상 기능을 구현하면 짧은 시간의 정전(수msec~수sec)에 대해서 압연 공정 전체의 전원을 안정화 시킬 수 있다.

이러한 장치는 순시 정전 시 압연 공정에서 발생하는 막대한 손실을 생각할 때 매우 경제적인 대응 수단으로 생각된다.

5. 노후 설비의 현대화(Retrofitting)

그림 3에서 표시한 바와 같이 1980년 이후 새로 설치되는 압연 설비는 교류 전동기가 주종을 이루고 있다. 그러나 1960년대 이후 설치된 정지형 워드-레오나드 시스템에 근거한 직류 전동기 시스템 역시 현장에서 아직 널리 사용되고 있다. 이러한 직류 전동기 제어 시스템은 개개의 아날로그 소자에 의해 제어되고 있으나 급속한 전자 회로 기술의 발달로 인하여 유지 보수 부품을 찾기가 어려워지고 있다. 또한 현재 제철 설비는 100% 컴퓨터에 의해 디지털 제어 되고 있으나 언급한 직류 전동기 제어 시스템은 아날로그 설계되어 있어 직접 디지털 제어 신호에 의해 동작되기 어렵다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 기존에 설치된 그림 2의 전력 변환 회로와 직류 전동기를 그대로 사용하고 제어시스템만을 디지털화함으로써 제어 성능을 대폭 향상시키면서 동시에 앞에서 언급한 문제점들을 해결할 수 있다. 그림 9는 이러한 제어 시스템의 일례로써 디지털 신호 처리기의 뛰어난 계산 성능을 이용하여 전동기를 포함한 전력 변환 회로를 실시간 모의하여 제어하는 예측 전류 제어 시스템의 블록도이다. 이러한 제어 시스템에 의하여 종래의 아날로그 방식의 제어에 비해 제어 대역폭이 5배 이상 증가될 수 있다⁶⁾. 그림 10은 실제 직류 전동기를 구동할 때 얻을 수 있는 실험 파형이다.

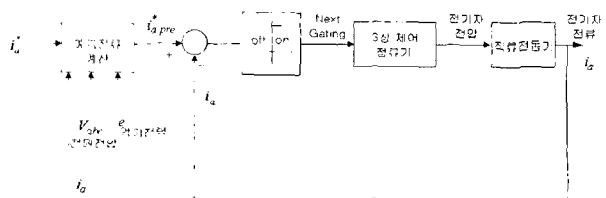
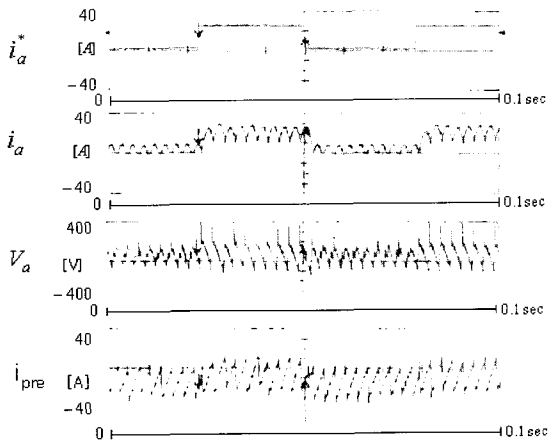
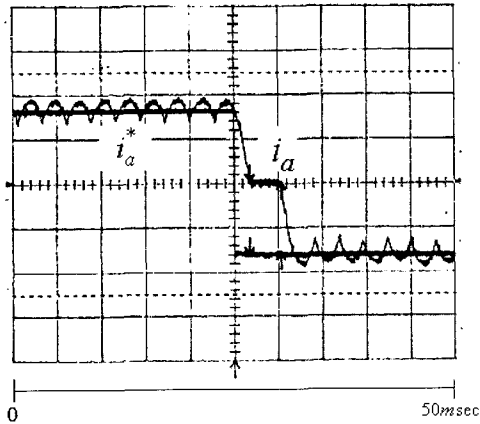


그림 9. 예측전류제어기의 블록도



(a)



(b)

그림 10. 예측 전류 제어기에 의한 정지형 워드 레오나드 제어기의 전류 제어 (a) 연속, 불연속시의 전류제어, (b) 기준전류 극성(Polarity) 전환 시의 전류제어(20A/div.)

6. 결 론

압연 공정에 있어 전력전자 설비는 더욱 확대 적용될 것으로 생각되며 전력용 반도체, 전자 회로 등의 기술 발전에 따라 그 성능은 더욱 향상될 것으로 생각된다. 특히 자동화와 에너지 절약 등의 시대적 요구에 따라 고도의 디지털 제어 설비와 영구자석 전동기의 폭넓은 활용이 기대된다. 또한 전력 전자 설비가 발생시키는 고조파(Harmonics), 전자잡음에 의한 간섭(EMI), 전동기에 대한 순간적인 과전압, 등의 문제를 해결하는 것 또한 전력전자기술의 적용상의 과제로 등장하고 있으며 이에 대한 연구가 학계와 산업계에서 최근 진행되고 있으며 그 결과가 현장에 적용되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 설승기, "전기기기제어론, 제2장", 브레인 코리아, 2002.
- [2] 高橋의 1인, "압연기 드라이브 시스템", 일본 OHM지, pp. 46-53, 1993, No. 4.
- [3] H. Akagi, "Large Static Converters for Industry and Utility Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 80, No. 6, pp. 976-983, 2001.
- [4] 설승기 외 2인, "유도전동기 구동을 위한 속도 센서 없는 벡터 제어 알고리즘 개발", 포스콘(주) 연구과제 보고서, 2000. 12.
- [5] F. Carlsson 외 2인, "Ride-through investigation for a Hot Rolling Mill Process", Power System Technology, 2000. Proceedings. PowerCon 2000. International Conference on , Volume: 3 , pp. 1605-1608, 2000.
- [6] 설승기 외 13인, "압연용 대용량 전동기 구동 시스템의 연구 개발", 포스콘(주) 연구과제 보고서, 1994. 1.

< 저 자 소 개 >



설승기(薛承基)

1958년 3월 25일생. 1980년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 전기공학과 졸업(박사). 현재 서울대 공대 전기, 컴퓨터공학부 교수.