

Stocker 시스템에 적용한 비접촉 전원시스템의 효율 개선에 관한 연구

(A study on efficiency improvement of contactless power supply system for Stocker system)

황계호* · 김원곤 · 윤종보 · 문인호 · 이봉섭

(Gye-Ho Hwang* · Won-Gon Kim · Jong-Bo Yun · In-Ho Moon · Bong-Seob Lee)

Abstract

최근, LCD(Liquid Crystal Display) 산업에서 클린룸의 규모가 커짐에 따라 Stocker 시스템의 사이즈가 커지고 길이가 장거리화 되고 있다. 이에 제조업체는 생산수율을 높이기 위해 Stocker 시스템의 전체 택타임을 줄이기 위한 방안으로 Stocker 시스템의 속도를 증가시키도록 요구하고 있다. 또한, 제조업체는 고유가 시대에 여러 장비들에 대한 에너지 절약을 통한 공장 운영비용이 최소화되도록 요구하고 있다. 따라서 본 논문은 차세대 Stocker 시스템의 에너지 절감과 이송 속도증가에 따른 비접촉 전원시스템의 최적설계를 제안하고, 에너지 절감을 위한 비접촉 전원시스템의 시제품을 제작하여 부하인 크레인의 여러 운전 패턴에 따른 비접촉 전원시스템의 실증시험과 입/출력 특성, 효율 개선에 따른 비접촉 전원시스템을 개발하여 에너지 절감 효과에 대하여 서술하였다.

1. 서 론

국내 반도체 및 LCD(Liquid Crystal Display) 산업은 선진국 수준의 기술 및 생산기술을 확보하고 LCD 생산부분에서 세계 시장의 40% 이상을 차지하는 국가 주력 산업으로 성장하였다. LCD 생산 라인을 크게 분류하면 Process 장비와 Glass 기판을 필요로 하는 공정으로 운반시켜 주는 이송 시스템으로 구성된다. 이송시스템은 Glass의 이송 장치와 보관 및 Buffer 역할을 하는 Stocker로 구분되어 진다. 현재 국내/외적으로 8 세대 LCD가 양산되고 있고, 10 세대 제조라인이 건설 중인 것처럼 빠르게 커져가는 Glass 기판의 크기와 무게의 증가로 인하여 이송시스템 전반에 걸친 기술의 진보가 선행되어야 한다. 이처럼 대형화 되어 가는 시스템은 먼저 그 구동부의 메카니즘과 전원용량 증가에 따른 기술이 뒷받침 되어야 한다. 따라서 이에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다[1~4]. 또한, LCD 및 반도체 생산라인은 품질의 우수성을 위하여 반드시 초청정성이 유지되는 클린룸 내에서 생산이 되어 지며, 클린룸내의 모든 장비는 오염원인인 분진(Particle)의 발생이 최소화 되어야 하나, 자동화 라인의 이송부분, 특히 동력 전달 장치와 전원 시스템에서 많은 오염원이 발생하게 되어 생산수율 저하의 요인으로 나타나고 있

다. 이러한 오염 발생문제를 해결하기 위한 선형전동기(Linear Motor)와 비접촉 전원시스템의 연구와 사용이 급속히 증가하는 추세이다[4~7]. 현재 현장 적용되어진 선형전동기와 비접촉 전원시스템은 오염원의 발생을 최소화 시키는 목적에는 적합하지만 효율이 낮기 때문에 많은 전기에너지를 소모하고 가격이 비싼 단점을 가지고 있다. 따라서 기존의 선형전동기 보다 고출력, 고효율, 저가격인 선형전동기와 고효율 비접촉 전원시스템의 개발이 절실한 실정이다[8].

최근 국제유가가 치솟는 고유가 시대는 고효율 고출력 선형전동기와 고효율 비접촉 전원시스템을 개발하여 생산수율의 증대와 에너지 절감을 통한 공장 운영비의 최소화가 요구되어지고 있다[4].

따라서 본 논문은 차세대 Stocker 시스템의 에너지 절감과 이송 속도증가에 따른 비접촉 전원시스템의 최적설계를 제안하고, 에너지 절감을 위한 비접촉 전원시스템의 시제품을 제작하여, 부하인 크레인의 여러 운전 패턴에 따른 비접촉 전원시스템의 실증시험과 입/출력 특성, 효율 개선에 대하여 검증하고자 한다.

2. 비접촉 전원시스템

2.1. Stocker 시스템[8]

Stocker 시스템은 LCD 공정간 물류 이송 시스

템으로 LCD 원판 또는 가공원판을 보관하는 카세트를 이송, 보관하는 기능을 담당하고 있다. 또한, Stocker 시스템은 장거리화에 대응하고, 생산 수율, 장비의 신뢰성을 고려하여야 한다.

그림 1(좌)은 Stocker 시스템의 개략도를 보여주고 있다. 그림 1(좌)에서 보듯이 일반적으로 Stocker 시스템의 전체 구성은 Shelf, 입/출력 포트(I/O port), FFU(Fan Filter Unit), 크레인, 비접촉 전원시스템으로 이루어져 있으며, Shelf는 카세트를 보관하는 곳으로 주로 2~5층 구조로 되어 있으며 양쪽 측면으로 배치되어 있고, 입/출력 포트는 Stocker 시스템에 카세트를 입/출력하는 곳으로 컨베이어, 또는 Pick & Place 로봇이 있다. FFU는 Stocker 시스템의 공기 청정도를 유지하기 위한 장비이고, 크레인은 카세트를 Stocker 시스템 내에 이송하는 로봇이다. 여기서 비접촉 전원시스템(CPS, Contactless Power Supply)은 크레인 내의 전원을 공급하기 위한 비접촉 전원 장치를 말한다. 그림 1(좌)에서 보듯이 Stocker 시스템의 특징은 길이가 장거리인 20~60[m]이고, 점점 더 장거리화 되는 추세이며, 크레인은 직선구간에서만 이동하고 있음을 알 수 있다.

그림 1(우)는 Stocker 시스템 내의 카세트를 이송하기 위한 로봇인 크레인을 보여주고 있다. 여기서 카세트는 여러 장의 글라스 원판 또는 여러 장의 가공 패널 글라스를 한꺼번에 보관하는 케이스를 말한다. 상단 Shelf에서 하단 Shelf로 또는 하단 Shelf에서 상부 Shelf로 카세트를 이송하기 위해 그림 1에서 보듯이 Stocker 시스템 내의 크레인이 이송을 하게 되며, 카세트를 이송하기 위해 크레인의 구동축은 4축이 구동되어야 한 번의 Stocker 시스템의 택타임이 끝나게 된다. Stocker 시스템내의 크레인을 구동하기 위한 축은 주행축, 승강축, 회전축, 이재축이 있으며, 주행축은 직선왕복운동을 하며 X축 방향으로 이동하고, 승강축은 크레인의 암을 상하왕복운동을 하며 Z축 방향으로 이동하고, 회전축은 크레인의 암(Arm)을 180[°]로 회전운동을 하며 T축 방향으로 이동하고, 이재축은 크레인의 암이 주행축과 직각인 방향으로 직선왕복운동을 하며, A축 방향으로 이동한다.

Stocker 시스템의 전체 택타임을 구동하기 위한 축으로 순서대로 서술하면, Shelf에서 카세트를 가져오기 위해 A축을 구동한 후, 카세트의 목적지에 이송하기 위해 X축, Z축, T축이 동시에 구동한 후, 카세트의 목적지인 Shelf가 장거리 이송이면 X축만 등속으로 구동한 후, 카세트의 목적지인 Shelf에 도착 후 Shelf에 카세트를 넣기 위해 A축

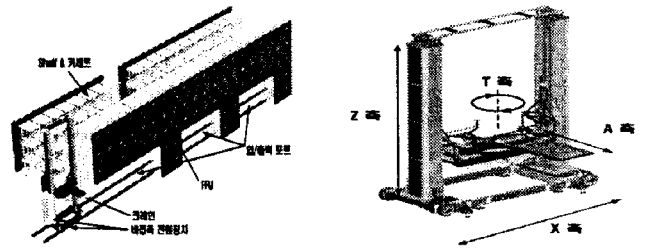


그림 1. Stocker 시스템의 개략도(좌)와 크레인(우)
Fig. 1. Layout(left) and crane(right) of Stocker system

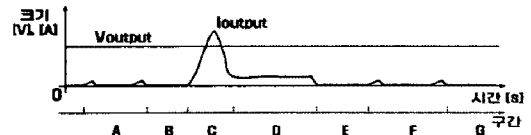


그림 2 비접촉 전원시스템의 정상적인 출력 전압, 전류 파형
Fig. 2. General waveforms of Voutput and loutput in CPS system

을 구동하면 Stocker 시스템의 전체 택타임이 된다.

그림 2는 크레인의 전체 택타임에 대한 비접촉 전원시스템의 정상적인 출력전압, 출력전류파형을 보여주고 있다. 그림 2에서 보듯이 크레인이 운행 패턴에 따라 C구간에서 가장 큰 전력을 소모하게 되어 이 구간에서 비접촉 전원시스템이 안정적으로 동작되도록 설계되어 제작되도록 하여야 한다.

본 논문에서는 그림 1의 Stocker 시스템을 부하로 선정하여 에너지 절감과 장거리에 이송 속도 증가가 가능한 비접촉 전원시스템을 최적설계, 제작하여 부하(크레인)의 여러 운전 패턴에 따른 비접촉 전원시스템의 실증시험과 입/출력 특성, 효율을 분석하여 비접촉 전원시스템의 효율을 개선하고자 한다.

2.2. 비접촉 전원시스템

그림 3은 비접촉 전원시스템의 블록도를 보여주고 있다. 그림 3에서 보듯이 비접촉 전원시스템은 크게 1차측 전원공급장치, 크레인에 탑재된 2차측 전원공급장치, 비접촉을 위한 inductive coupler 장치로 구성하였다. 비접촉 전원시스템은 그림 3에서 보듯이 광모뎀을 통하여 크레인에 탑재된 2차측 전원공급장치와 1차측 전원공급장치간 정보를 교류하여 최적의 출력전압을 제어하는 구조로 전원시스템의 효율을 증가시키고 있다. 이런 구조를 출력 정전압 제어시스템이라 하고, 1차측 전원공급장치와 2차측 전원공급장치가 단독으로 1대만 구동되는 자동 이송 시스템인 Stocker 시스템에 주로 사용되어진다. 또한 그림 3의 가, 나 는 입/출력 전압과 전류의 측정 위치를 표시하였다.

비접촉 전원시스템의 전체 시스템 회로 구성을

살펴보면 다음과 같다. 먼저, 고정부와 이동부로 나눌 수 있는데, 고정부에는 3상 Vac을 단상 Vdc로 전력변환하는 3상 정류부와 단상 Vdc를 고주파로 구동되는 Vac로 전력변환하는 공진 인버터로 구성하였고, 이동부에는 고주파수로 구동되는 단상 Vac를 Vdc로 전력변환하는 단상 정류기와 초퍼 컨버터로 구성되도록 하였다. 표 1은 비접촉 전원시스템의 전력변환 토폴로지 사양을 나타내고 있다. 참고 문헌[8]에서 비접촉 전원시스템의 전력변환 토폴로지 사양을 살펴보면 1차측 시스템에 boost 컨버터를 사용하여 승압된 Vdc를 1차측 전원공급장치에 사용하여 이송 속도증가에 대한 효율 및 전원 용량에 맞게 연구되어졌다. 그러나 이는 승압형 컨버터가 삽입되면서 시스템의 전체 효율면에서 저해되는 요소로 작용되어 지므로, 본 논문에서는 이를 고려하여 boost 컨버터를 제거하는 표 1의 토폴로지로 최적인 비접촉 전원시스템을 설계하여 제어되도록 하였다. 또한, 본 논문에서 1차측 전원공급장치에 탑재된 고주파 공진 인버터는 2차측 전원공급장치의 부하 변동에 따라 ZVS(zero voltage switching) 기능을 갖는 유도성 패턴으로 고정하여 듀티 제어로 특정 듀티 범위에서 동작 되도록 하였다. 2차측 전원공급장치는 크레인의 한정된 부분에 장착되게 최적의 사이즈를 고려하여 제작하였고, 여러 운행 패턴에서도 비접촉 전원시스템의 출력전원을 안정되게 유지되도록 설계/제작하였다.

본 논문의 비접촉 전원시스템 사양은 1차측 전원장치의 입력으로 3상 220[Vac] 60[Hz]를 인가하여 Stocker 시스템의 크레인이 구동시, 크레인의 입력 전압이 300[Vdc]가 유지되도록 하였다.

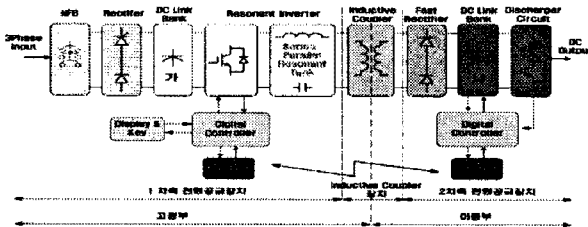


그림 3 비접촉 전원시스템의 블록도
Fig. 3. Block diagram of CPS system

표 1. 비접촉 전원시스템의 전력변환 토폴로지 사양
Table 1. Power topology specification of CPS system

시스템 구분	주요 항목	사 양	비 고
1차측 시스템 토폴로지	3상 정류기	Diode rectifier	3Phase, 60Hz, Vac→Vdc
	인버터	Resonant Inverter	1Phase, 15~25kHz, Vdc→Vac
2차측 시스템 토폴로지	단상 정류기	Diode rectifier	1Phase, High frequency, 15~25kHz, High FASE Diode, Vac→Vdc
	Chopper	Dynamic Breaker	1Phase, Dynamic Break, Vdc

2.3. 실험

그림 4는 비접촉 전원시스템의 실험 블록도를 보여주고 있다. 그림 4에서 보듯이 1차측 전원공급장치, 2차측 전원공급장치, inductive coupler 장치로 구성하였으며, 부하 변동에 따른 2차측 전원 공급장치의 출력전압 변동은 2차측 전원공급장치의 광모뎀에 의해 1차측 전원공급장치로 전송되어 1차측 전원공급장치에서 듀티 제어에 의해 1차측 트랙에 공진전류의 크기를 조정하여 2차측 전원공급장치의 출력전압이 제어되도록 구성하였다.

그림 5는 실제 제작하여 실험에 적용되어진 차세대 Stocker 시스템의 레이아웃을 보여주고 있다 [8]. 그림 5에서 보듯이 Stocker 시스템의 치수는 34[m]×6.6[m]×5.5[m]이고, 카세트의 사이즈는 1,680[mm]×1,480[mm]×1,580[mm]이다. 또한 Stocker 시스템의 레이아웃 구성은 테스트를 위하여 상부 1단 Shelf와 하부 1단 Shelf로만 구성하였다.[8]

그림 6(좌)은 Stocker 시스템의 크레인을 보여주고 있다. 그림 6(좌)에서 보듯이 크레인 무게는 7.5톤이며, 대응 하중(카세트)은 500[kg]이다.[8]

그림 6(우)은 비접촉 전원 시스템을 적용한 차세대 Stocker 시스템의 운행 실험 사진을 보여주고 있다. 그림 6(우)에서 보듯이 차세대 Stocker 시스템을 제작하여, 그림 5의 레이아웃으로 설치하였으며, 그림 6(좌)의 차세대 Stocker 시스템의 크레인을 표 2의 차세대 Stocker 시스템의 각축에 대한 운행사양으로 구동 가능한 비접촉 전원시스템을 최적설계, 제안, 제작, 적용하여 실험을 행하였다.

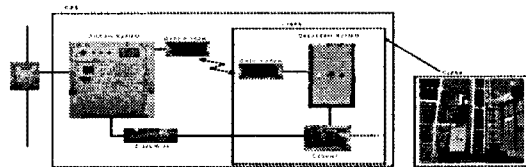


그림 4. 비접촉 전원시스템의 실험 블록도
Fig. 4. Experimental block diagram of CPS system

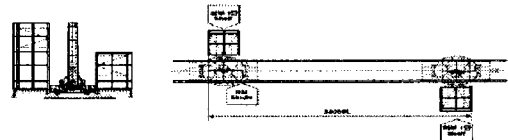


그림 5. Stocker 시스템의 레이아웃
Fig. 5. Layout of Stocker system

표 2. Stocker 시스템의 운행사양
Table 2. Operation specification of Stocker system

축	속도(m/min)	가속시간	감속시간	비 고
X	180	4초	3초	(카세트 무)
Z	6	4초	3.5초	
A	110	1.5초	1.5초	(카세트 무)
	50			(카세트 유)
T	36	3초	3초	



그림 6. Stocker 시스템의 크레인(좌)와 운행실험(우)
Fig. 6. Layout(left) and operating experiment(right) of Stocker system

표 3. 비접촉 전원시스템의 실험 파라미터
Table 3. Experimental parameter of CPS system

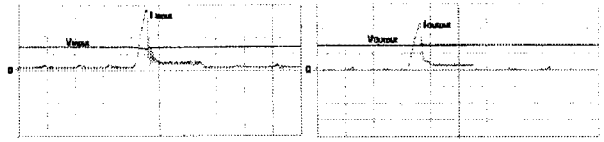
Item	Symbol	Value/Plant
입력 리액터	Li	0.5[mH]
파워트랙 공진리액터	Lr	53.4[μH]
1차측 공진 커패시터	Cs	1.65[μF]
2차측 공진 커패시터	Cp	16.45[μF]
Power Switches (IGBT)	S1~S4	SEMIX553GB128DS 1200[V],380[A]
정류 다이오드	D1~D4	SKKD105F/12 (150[A], trr:0.5[μs])
공진 주파수	fr	16.95[kHz]
스위칭 주파수	fsw	17.86[kHz]
파워트랙 길이	Track	34[m]
부하 용량	Power	50[kW]
출력 전압	Vco	300[Vdc]

표 2에서 보듯이 차세대 Stocker 시스템의 크레인 주행속 구동 속도는 3[m/s]이며, 가속도는 0.75[m/s²]로 구동하도록 하였다. 또한 크레인의 택타입은 2개의 패턴으로 이루어진다. 운행 패턴 I은 카세트를 하부 Shelf에서 상부 Shelf로 이송할 경우이고, 운행 패턴 II는 카세트를 상부 Shelf에서 하부 Shelf로 이송할 경우로 나눌 수 있다 [8]. 참고문헌[8]에서 제시하였듯이 운행 패턴 I에서 출력이 높게 나오므로 본 논문에서는 운행 패턴 I에 대한 비접촉 전원장치의 입/출력 특성과 개선된 효율을 분석하고자 한다.

표 3은 Stocker 시스템 크레인의 여러 운행패턴에 적용하기 위해 최적 설계 제작된 비접촉 전원시스템의 주요 실험 파라미터를 보여주고 있다.

그림 7(좌)는 Stocker 시스템의 크레인이 운행패턴 I로 구동되는 경우, 비접촉 전원 시스템의 입력 전압, 전류의 실험 파형을 보여주고 있다. 그림 7(좌)에서 보듯이 크레인의 최대 기동시 입력전류는 189[A]이고 입력전압은 262[V]로 최대 입력전력은 49.52[kW]가 됨을 알 수 있다. 이는 크레인이 최대 토크에서도 전원이 안정되게 유지됨을 알 수 있다.

그림 7(우)는 Stocker 시스템의 크레인이 운행패턴 I로 구동되는 경우, 비접촉 전원 시스템의 출력전압, 전류의 실험 파형을 보여주고 있다. 그림 7(우)에서 보듯이 크레인의 최대 기동시 출력전류는 144[A]이고, 출력전압은 282[V]로 최대 출력전력은 40.62[kW]가 됨을 알 수 있다. 이는 그림 2의 비접촉 전원 시스템의 정성적인 파형과 같은 특성임을 알 수 있고, 또한, 그림 7에서 보듯이 크



200[V/div], 50[A/div], 5[s/div]
그림 7. 비접촉 전원시스템의 실험파형(운행패턴 I)
(좌:입력전압, 전류, 우:출력전압,전류)

Fig. 7. Experimental waveforms of CPS system (operating pattern I) (left:Vinput, Iinput, right:Voutput, Ioutput)

레인이 운행패턴 I로 운행시 비접촉 전원 시스템의 효율은 82[%] 정도가 됨을 알 수 있다. 이는 참고문헌[8]의 76[%]보다 비접촉 전원시스템의 최적설계와 제작으로 효율이 6[%]향상되었음을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문은 차세대 Stocker 시스템의 에너지 절감과 이송 속도증가에 따른 비접촉 전원시스템의 최적설계를 제안하였고, 에너지 절감을 위한 비접촉 전원시스템의 시제품을 제작하여 부하인 크레인의 여러 운전 패턴에 따른 비접촉 전원시스템의 실증시험과 입/출력 특성, 효율을 분석하여 개선된 비접촉 전원시스템을 개발하여 에너지 절감 효과에 대하여 서술하였다. 그 결과, Stocker 시스템의 크레인이 이송 속도증가(운행패턴 I)에서 비접촉 전원시스템 최적설계로 인해 안정적인 출력 특성을 나타내는 것을 알 수 있었고, 운행패턴 I로 운행시 비접촉 전원 시스템의 효율은 82[%]로 전원장치의 최적설계와 제작으로 인해 효율이 6[%] 향상되었음을 알 수 있었다. 향후, Stocker 시스템의 크레인 운행 조건의 변화에 대한 운행 패턴별 비접촉 전원장치의 특성에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] 한국반도체 산업협회, "반도체장비 기술로드맵", 한국 반도체 디스플레이장비학회, 공청회 발표자료, 2005.
- [2] 강성룡, "2005 부품·소재로드맵 반도체·디스플레이 장비 부품", 산업기술재단, pp.474-579, 2005. 12.
- [3] (주)신성이엔지, "LCD Fab에서의 자동반송 시스템", 월간 반도체, No. 195, pp.44-50, 2004. 5.
- [4] (주)신성이엔지, "LCD 공정용 이송시스템 개발", 산업자원부, 에너지·자원기술개발사업 최종보고서, 2007.12.
- [5] 황계호, 이영식, 전진용, 김호중, "비접촉 급전장치", 특허등록번호 제10-0592433호, 2006. 6.
- [6] J. Meins, "Contactless Power Supply for Transport Systems", in Conf. Rec. of MAGLEV'98, pp.268-273, 1998.
- [7] 김원근, 윤종보, 박건우, 황계호, "선형전동기를 적용한 LCD 패널 자동반송용 순환캐도차량 시스템 개발", 반도체 및 디스플레이장비학회 논문지, Vol.7, No.3, pp.11-16, 2008.
- [8] 황계호, 김원근, 윤종보, 이봉섭, "Stocker 시스템에 적용한 비접촉 전원시스템의 효율에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.23, No.1, pp.69-77, 2009. 1.