

엘리베이터의 회생 전력을 이용한 고효율 태양 광 연계형 인버터 개발

(Development of a High Efficiency Photo Voltaic Inverter System With Using Regenerative Power of Elevator)

조 수 역
Su-Eog Cho)

Abstract

The generation cost of photo voltaic is the most expensive among the renewable energy. To reduce the generation cost of photo voltaic, the proposed method added the regeneration power of elevator. Therefore we have the simulation results the proposed method is 60[%] higher than the previous photo voltaic generation for efficiency of generation.

1. 서 론

세계는 현재 석유등의 화석연료를 주 에너지원으로 하여 대부분의 에너지를 생산하고 있다. 하지만 중동지역의 불안과 전쟁, 자원 매장량의 한정, 자원 고갈의 우려 등은 선진국들에게 앞 다퉈 대체 에너지원 확보에 총력을 기울이게 하는 요인이 되고 있고 대체에너지 기술 선진국들은 그 대체방안 중 하나로 자원이 무한하고 친환경적인 태양광을 선택하고 있다. 우리나라도 역시 중·장기 대책 및 기술 개발 계획을 세우고 있지만 아직 태양광 발전 분야의 기술은 선진국에 비해 70% 수준에 머물러 있다.

현재의 국내외 태양광 연계형 시스템의 효율은 태양의 광 일사량 변화에 따라 달라진다. 우리나라 여름의 경우 정오 12시부터 1시까지 태양광의 일사량이 최대이다. 태양광 연계형 전력 변환 장치의 정격은 최대 일사량의 빛 에너지를 전기 에너지로 변환하는 양에 따라 결정되어진다. 그러므로 정오 시간대를 제외한 오전 시간대와 오후 시간대의 태양광 연계형 인버터의 빛에너지의 전기 에너지 변환 효율은 저조하다. 그리고 날씨가 흐린 경우와 야간에는 에너지 변환 효율이 제로이다.

태양의 일사량에 의존하기 때문에 낮아지는 태양광 연계형 전력 변환 장치의 사용 효율을 개선하기 위하여, 엘리베이터의 회생에너지를 추가하면 1일 태양광 에너지의 전기에너지로의 평균 변환 효율을 약 60[%]이상 증진시킬 수 있다.

특히 태양광의 경우 일사량이 오전 8시를 기점으로 서서히 증가하다가 정오가 되면 최대가 되고 오후가 되면서 서서히 약해지다가 오후 6시경 태양의 일사량은 제로가 되나, 엘리베이터의 경우 오전 6시부터 기동되기 시작하다가 오전 7시부터 9시경까지 출근시간대로 엘리베이터의 기동 빈도수가 가장 많고 이로 인한 회생 전력도 최대이다. 이 시간대는 태양광의 일사량이 거의 최대치의 5[%]미만인 시간대이므로 엘리베이터의 회생 전력을 태양광 연계형 인버터로 전송 시 사용 효율을 크게 증진시킬 수 있다. 또한 오후 5시부터 7시까지는 엘리베이터의 경우 퇴근 시간대로 오전의 출근시간대와 같이 엘리베이터의 기동빈도수가 가장 많은 경우이며 이 경우 태양광의 일사량이 거의 제로에 가까워져 있을 경우 이므로 엘리베이터의 회생 전력을 추가함으로써 태양광 연계형 인버터의 사용 효율을 증진시킬 수 있다. 엘리베이터의 사용은 야간 시간대에도 기동함으로 태양광이 없는 경우에도 엘리베이터의 회생 전력을 태양광 발전 시스템으로 전송시킴으로써 해서 태양광 연계형 인버터의 평균 사용 효율을 크게 증진시킬 수 있다. 엘리베이터가 운행시, 카 무게와 균형추 무게의 불균형으로 인해 최대 엘리베이터 정격 용량의 40[%]가 회생되는데, 이 회생 전력을 현재는 엘리베이터 제어반내의 저항에서 소비하고 있다. 상기와 같이 회생 전력을 태양광 연계형 인버터로 보낼 경우 엘리베이터 전력변환장치 구성 부중 회생 전력 제어부 및 회생 저항의 삭제가

가능해져서 약 40만원의 재료비 절감 및 회생 저항에서 발생하는 엘리베이터 기계실 열량을 대부분 80[%]이상 제거할 수 있다.

또한 엘리베이터의 회생전력을 추가함으로써 태양광 연계형 인버터의 1일 평균 사용 효율을 60[%]까지 증진하여 태양광 연계형 인버터의 경쟁력을 획기적으로 증진시킬 수 있다. 엘리베이터의 회생 전력을 이용한 태양광 연계형 시스템은 엘리베이터 시스템 및 태양광 연계형 시스템 양쪽 모두 윈 윈 할 수 있는 시스템 일뿐 아니라, 현재는 태양광 발전 시스템이 사용되는 장소가 한적한 전원 주택이 대부분이었으나, 대부분의 엘리베이터가 설치되는 도심의 아파트 단지에 태양광 발전 시스템을 설치함으로써 태양광 시스템의 수요를 창출하는 효과도 가져올 수 있다. 이렇게 막연하게 소비되는 엘리베이터의 회생 전력을 태양광 연계형 인버터에 추가함으로써 태양광 연계형 인버터의 평균 사용 효율을 약 60[%] 이상 증진하여 태양광 인버터의 발전 단가를 획기적으로 낮추고, 태양광 발전시스템의 수요를 기존의 전원주택과 더불어 도심의 아파트 단지로 창출하여 대체에너지의 파급 효과를 극대화 할뿐 아니라 승강기의 제조 단가를 인하하여 승강기의 경쟁력을 높일 수 있다. 또한, 국외의 경우에도 상기 제안하는 시스템으로 태양광 연계형 인버터 및 엘리베이터 수출 시장의 경쟁력을 제고할 수 있다. 국내의 경우 태양광 발전 업체들이 이미 연계형 인버터 개발에 몰두하여 상품화되어 나오고 있다. 헥스파워 및 LS 산전, S-energy 등 국내의 여러 업체에서 계통 연계형 인버터를 출시하고 있으며 현재 출시되어 있는 인버터의 효율은 각기 93%~95% 사이이며, 엘리베이터의 회생 전력을 이용한 고효율 태양광 연계형 인버터는 개발되고 있지 않다. 국내 엘리베이터 업체로는 OTIS, LG 및 현대엘리베이터, 동양 엘리베이터가 국내 빅3 업체이며, 중 저속 엘리베이터가 국내 엘리베이터 물량의 대부분을 차지하며 인버터용 엘리베이터의 경우 종전의 유도기를 사용하는 기어드 방식에서 동기기를 사용하는 기어레스 방식으로 전환되어 회생되는 용량이 약 15[%] 증가되고 있으므로, 향후 제안된 방식의 태양광 연계형 인버터의 평균 사용 효율은 더 증대되어질 것이다. 국외의 경우 태양광 연계형 인버터 부분에서, 독일은 대체에너지 분야에서 가장 선진국으로 자부하며 전 세계 태양광 시장에서 선점을 하고 있다. 그중 SMA사의 인버터가 높은 신뢰도를 얻고 있

으며 연계형 모델로 Sunny Island라는 제품을 출시하고 있다. 인버터 효율은 최상의 조건에서 최고 95%이고 기본적인 진단기능을 갖추고 있다. SMA사는 계통연계형의 개선에 중점을 두고 지속적인 개발을 진행해오고 있다. 일본은 대체 에너지 대표적인 기업은 Sharp로써 미국 시장 등을 겨냥하여 많은 투자를 하고 있다. 이 회사의 인버터는 효율이 최고 95%이며 계통 연계형을 출시하고 있다. 현재 Sharp사는 주로 태양광 모듈 개선에 중점을 두고 있다. 미국 및 캐나다에서는 태양광발전의 세계 3두마차라는 명색에 걸맞게 독일, 일본과 더불어 많은 기술을 보유하고 있다. 그중 Ballard사는 인버터의 최고 효율을 96%로 표기하고 있으며 계통연계가 가능하다. 하지만, 제안하는 방식인 엘리베이터의 회생 전력을 이용한 고효율 태양광 연계형 인버터의 개발은 이루어지고 있지 않다. 국내에서 제안하는 방식을 개발하는 경우, 국외에서 연계형 인버터 시장 및 엘리베이터 시장에서 시장 점유율을 크게 높일 수 있다.

2. 본론

2.1. 국내 승강기 현황 및 추이 분석

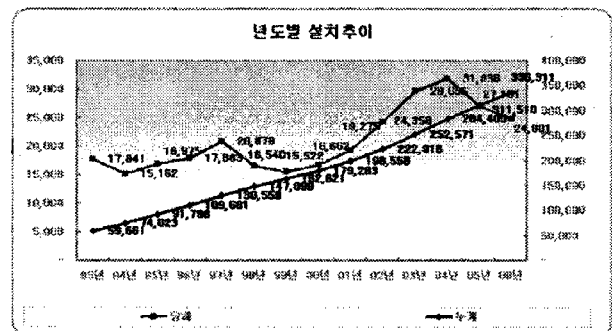


그림 1. 연도별 승강기 누적 운행 추이

그림 1과2에서 국내 승강기의 회생 저항에서 소비되는 승강기 회생 전력의 양을 분석하기위하여 연도별 승강기 설치 현황 및 추이를 분석하였다. 현재 국내에는 2006년까지 336,311대의 승강기가 운행되고 있으며, Gearless 기종인 MRL 모델이 증가하는 추세이다. 그림 3에서 표준화된 대표 태양광 연계형 모델 선정을 위하여 운행 속도별 승강기 운행 현황을 분석하였다. 2003년 이후 물량 감소 추이를 감안하면 90[m/min]가 APT용으로 가장 많이 적용된다. 그림 1-6의 분석을 통하여 대표 모델을 아파트형, 15층, 속도 90[m/min], 15인승(1000[kg])으로 설정하였다.

연도별 일반 VS MRL 승강기 설치 대수

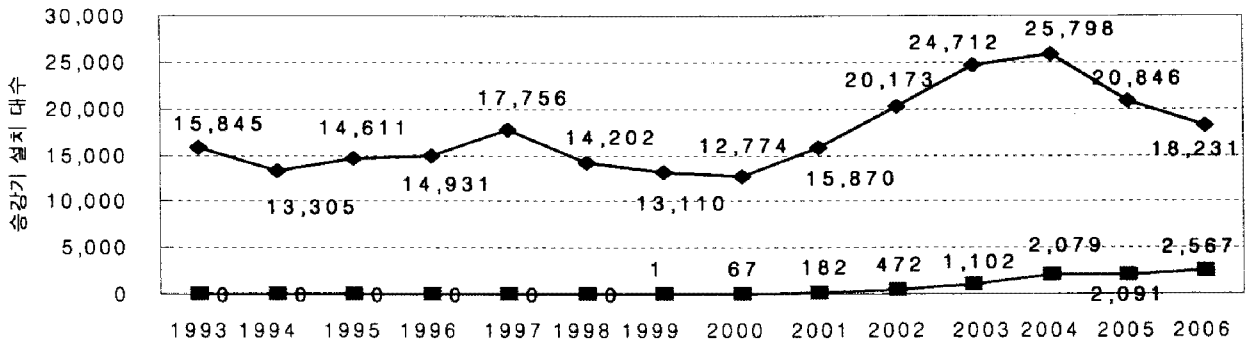


그림 2. 연도별 승강기 (일반 VS MRL) 설치 추이

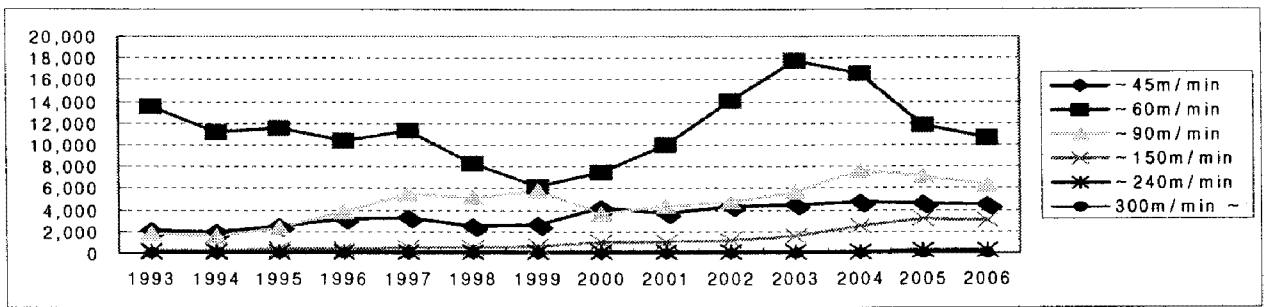


그림 3. 운행 속도별 승강기 종류별 운행 대수

2-2. 국내 승강기 속도 인승별 모터 용량

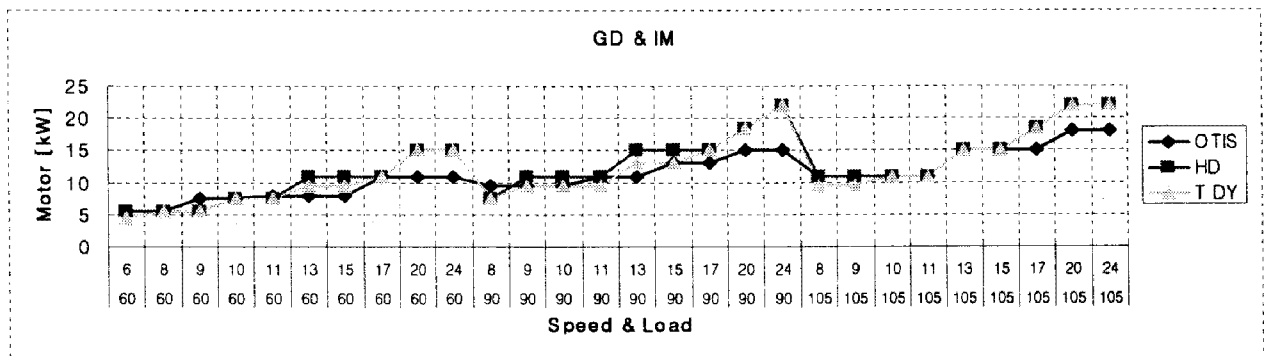


그림 4. 국내 3사 모터 용량 (Geared & 유도전동기)

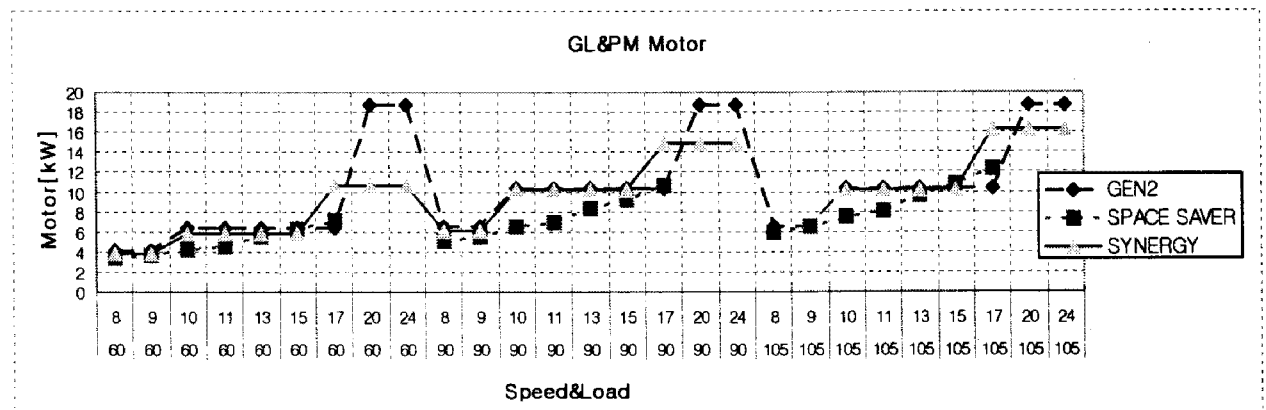


그림 5. 국내 3사 모터 용량 (Gearless & 동기전동기)

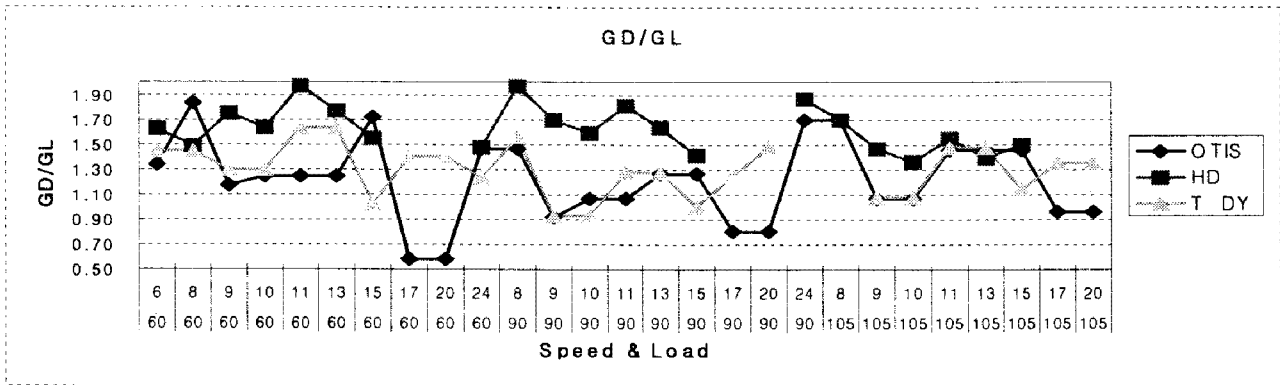


그림 6. 국내 3사

(Geared & 유도전동기) VS (Gearless & 동기전동기) 모터 용량 비교

2-3. 승강기의 속도 인승별 인버터 용량 및 회생 용량을 시뮬레이션[1].

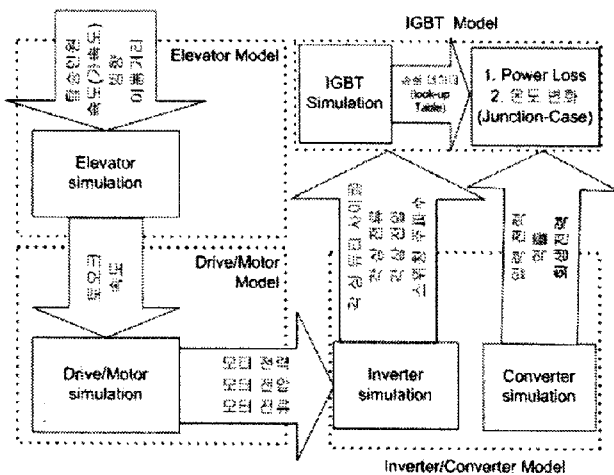


그림 7. 승강기의 회생전력 및 전력 변환 장치의 수명 시뮬레이션 구성

엘리베이터의 속도 및 인승과 방향에 따른 회생 전력, 전력반도체의 전력 손실 및 온도 상승에 의한 수명을 MatLab으로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 구성은 그림 7 과 같다. 엘리베이터 모델에서, 입력으로 승강기의 이동거리와 가속도 그리고 방향 및 탑승인원에 의한 부하가 주어지면, 출력으로 승강기 시브 크기에 의한 시브 속도, 그리고 로프 및 케이지 무게, 인승에 의해서 모터의 필요 토크가 계산되어진다. 드라이브 및 모터 모델에서는 드라이브 및 전동기 특성에 의해 요구 속도 및 토크에 맞는 모터 전력 및 전압과 전류를 계산한다. 인버터 및 컨버터 모델에서는 부하에 따른 각 상의 듀티 사이클 및 각 상의 전류, 전압, 입력 전력, 회생 전력

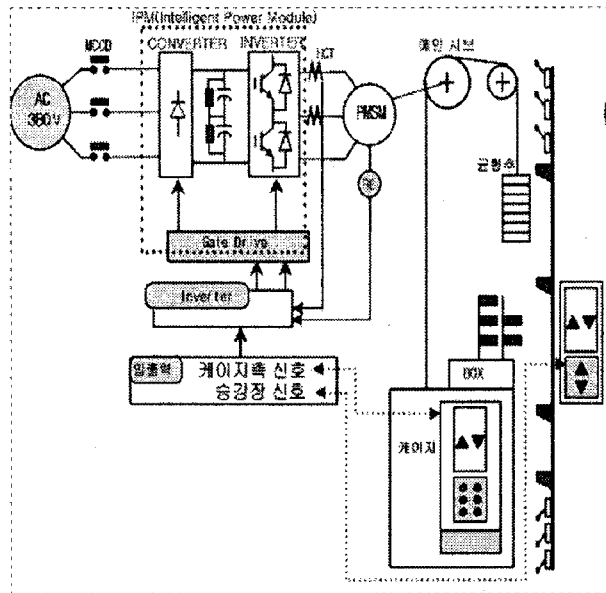


그림 8. 엘리베이터 시스템 구성도 및 모델

그리고 스위칭 주파수를 계산한다[2]. 그림 8은 시뮬레이션시 적용된 엘리베이터의 시스템 개략도를 나타낸 것이다. 엘리베이터용 전력 변환 장치 최적화시에는 엘리베이터 인승 및 모터가 결정되고, 여기에 전력 변환 장치를 최적화한다. 엘리베이터는 통상 승객이 탑승하는 케이지와 전력 저감을 위해 연결된 균형추로 구성되며, 그림 8에서 로핑이 1인 구조로 메인 시브가 케이지를 직접 구동하는 방식이다. 균형추는 케이지의 무게에 승차 인원의 50[%]의 무게로 만들어진다. 벡터제어 방식으로 구동되는 PMSM모터의 토크는 식 1 과 2로 표현된다.

$$T_E = K_{Torq} \times I_q \quad (1)$$

$$T_E = J_M \times \frac{dW_{rm}}{dt} + B_M \times W_{rm} + T_L \quad (2)$$

여기서, T_E 는 모터의 토크, K_{Torq} 는 토크 상

수, I_q 는 q축 전류, J_M 은 시스템의 이너서, W_{rm} 은 모터의 회전 각속도, T_L 은 부하 토크이다.

10.4[kw]의 부하에 전력 반도체를 정격 150[A] IPM(Intelligent Power Module)으로 적용한 경우이며, 표 1 및 2의 조건으로 그림 7의 구성으로 시뮬레이션 하였다. 그림 9에서 승강기의 회생 전력이 최대로 발생하는 조건은 무부하 상승시이며 그림 13은 승강기 부하별 회생 전력량을 나타내었으며 정속시 최대 6.6[kW]의 전력이 발전된다.

표 1. 엘리베이터 시스템 사양

인승	15
속도 [m/min]	90
정격 하중 [kg]	1000
전동기 [kW]	10.4
엘리베이터 무게 [kg]	1350
균형추 무게 [kg]	1850
로핑	2

표 2. 시뮬레이션 조건

스위칭 주파수	8[kHz]
이동 거리	10[m]
부하 조건	전부하
방향	상승
가속도	0.8[m/s ²]
가속도	1.4[m/s ³]

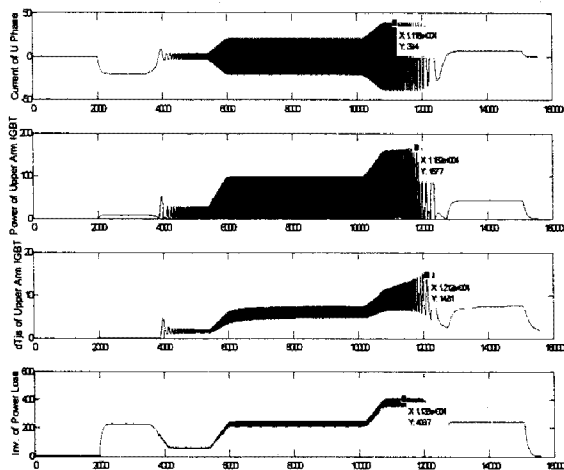


그림 9. Load : 0%
(a) 전류 (b) 전력 손실(윗상) (c) dTjS
(d) 인버터 전력 손실

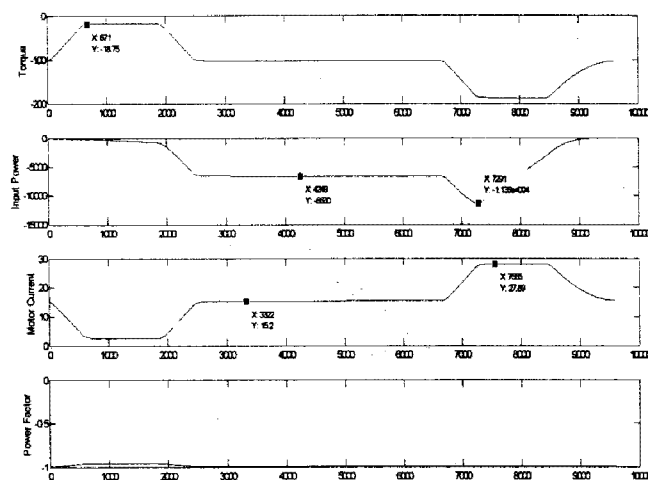


그림 10. Load : 0%
(a) 토크 (b) 입력 전력 (c) 모터 전류 (d) 역률

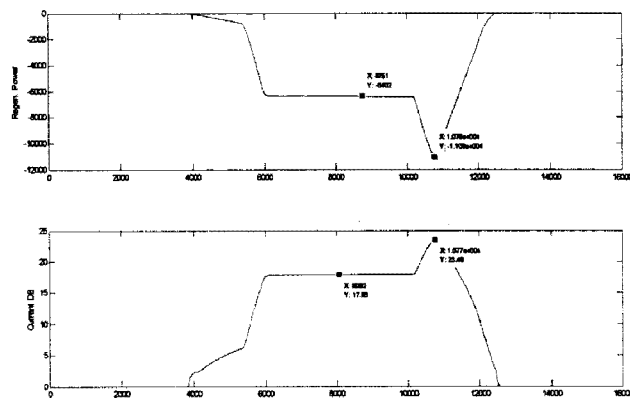


그림 11. Load : 0%
(a) 회생 전력 (b) 회생 전류

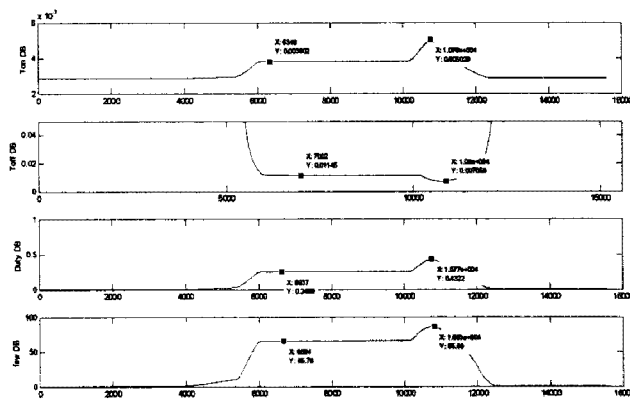


그림 12. Load : 0%
(a) 회생 전력 턴 온 시간 (b) 회생 전력 턴 오프 시간
(c) 회생전력 듀티 (d) 회생 전력 주파수

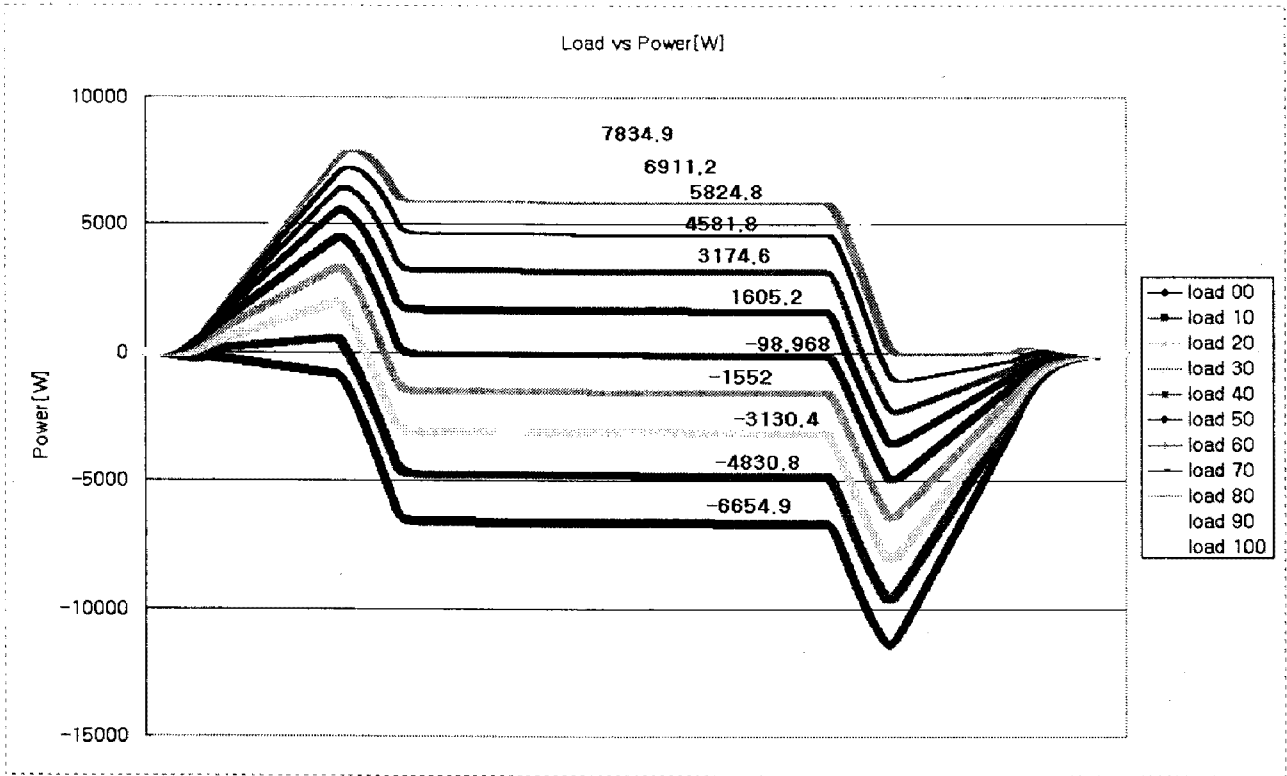


그림 13. Load별(0,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100[%]) 회생 전력

표 3. 1일 시간별 태양광 일사량 및 엘리베이터 기동 빈도 조건

시각[Hour]	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
태양광 일사량[Wh/m ²]	0	0	0	0	30	250	430	570	640	670	640
엘리베이터 기동 빈도[%]	5	20	30	70	100	90	30	5	50	40	10

시각[Hour]	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
태양광 일사량[Wh/m ²]	570	430	250	50	0	0	0	0	0	0
엘리베이터 기동 빈도[%]	10	30	40	90	100	50	30	40	20	10

그림 14는 시간에 따른 1일 태양광 발전 전력 및 승강기 회생 전력을 나타낸 것으로 표 3의 조건으로 상기에서 시뮬레이션 된 값을 5[kW]기준으로 변경하여 1일 시간대별 일사량에 따른 태양광 연계형 인버터의 발전전력을 나타내었으며, 202는 승강기의 기동 빈도에 따른 회생 전력량을 나타내었다. 200은 태양광 연계형 인버터 발전 전력에 승강기의 회생 전력을 전송한 경우이다. 제안된 방식인 엘리베이터의 회생 전력을 이용한 고효율 태양광 연계형 인버터의 경우 1일 평균 전력 변환 효율이 기존방식의 204보다 203에서 약 60[%] 증가됨을 확인 하였다.

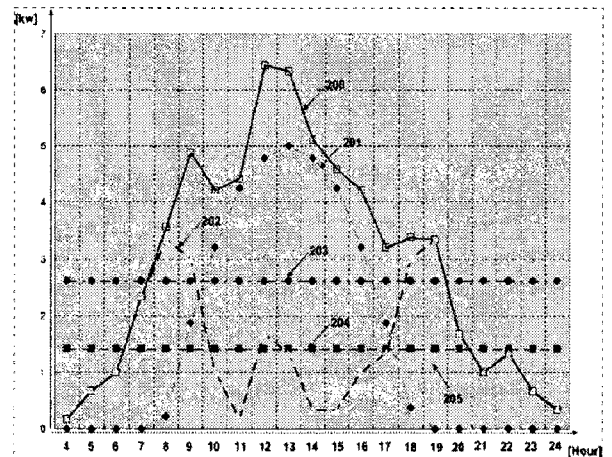


그림 14. 시간에 따른 1일 태양광 발전 전력 및 승강기 회생 전력

3. 결론

국내 승강기의 회생 저항에서 소비되는 승강기 회생 전력의 양을 분석하기 위하여 연도별 승강기 설치 현황 및 추이를 분석하였다. 표준화된 대표 태양광 연계형 모델 선정을 위하여 운행 속도별 승강기 운행 현황을 분석하였다. 국내 및 해외 승강기 모델 개발 추이를 분석하여 대표 모델을 아파트형 속도 90[m/min], 15인승 (1000[kg]), Gearless, PMSM(전동기)으로 정하였다. 대표 모델에 대하여 탑승 부하별 승강기의 회생 전력 및 부하 토크, 전력변환장치 전력손실, 전력반도체 수명 등을 시뮬레이션 하여 목표치인 1일 평균 태양광 발전 양이 기존의 1.41의 1.6배인 2.256이상이 됨을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 서울시 신기술 연구개발 지원 사업(과제번호: 11087)의 지원으로 수행되었으며, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 조수익, 박성준, “써멀 매니지먼트(Thermal Management)에 의한 3상 전압형 인버터의 전력 손실 최적화 설계”, 대한전기학회논문지, 56-10-9, 2007, 10.
- [2] Blasko, V. Lukaszewski, R. Sladky, R. "On line thermal model and thermal management strategy of a three phase voltage source inverter", Industry Conference Record of the 1999 IEEE, vol. 2, 3-7 Oct. 1999, pp. 1423-1431.