전기설비의 전기에너지 절약 운영기술 ⑩

자료제공 : 기술연구팀 ☎ 02)875-6524

제6절 전동력 응용설비의 에너지절약 운영

1. 엘리베이터 설비

가. 엘리베이터의 종류와 운전성능

엘리베이터는 사용목적에 따라서 승용, 인하용, 화물용, 기타 특수용 등이 있고 구동방식은 직류전동기에 의한 것과 교류전동기에 의한 것 그리고 유압식이 있다. 로프식은 정격속도 15m/min부터 600m/min까지, 유압식은 15~60m/min에 사용되고 일반적으로 표 3.6.1과 같이 분류된다.

표 3.6.1 엘리베이터의 종류와 속도제어 방식

	권상전동기	기어식 감속기	엘리베이터 속도(m/min)	속도제어방식
로프식	교 류 (교류엘리베이터)	있음 (geared)	15~30	유도전동기 1단속도
			45~60	유도전동기 2단속도
			45~105	유도전동기 1차전압 사이리스터 제어
	직 류 (직류엘리베이터)	있음(geared)	90~105	워드레오너드
		없음(gearless)	120~600	사이리스터 레오너드 또는 워드레오너드
유 압 식			15~60	유압식

엘리베이터의 제어는 민속성, 쾌적성, 착상의 정확성이 보장되어야 한다. 여기서 민속성이란 엘리베이터가 승장에 도착한 때부터 목적하는 층까지 빠르게 도착하는 것을 말하고 승장의 대기 시간과 승차하고 있는 시간이 짧을수록 좋다. 쾌적성은 생리적인 것과 심리적인 것이 있고 생리적 쾌적성이란 승차감을 뜻하고 가감속도장의 매끄러움와 주행중의 진동 소음 등이 문제이다. 심리적 쾌적성은 대기 시간이 길다든지 혹은 도어의 닫힘이 느리다든지 하는 등 불쾌감을 느끼게 하는 현상을 방지하는 일이 중요하다. 다음 착상의 정확성은 상승 하강을 매끄럽게 할 수 있고 또 승강시의 위험을 방지하는 일이 중요하다.

이런 요구를 충족시키기 위한 주행곡선으로 그림 3.6.1이 있다.

이 그림에서 가감속도의 변화부분이 정현파 모양으로 되는 운동곡선이 승차감과 주행시간의 관계로 보아 가장 좋고 이것을 이상 운동곡선이라고 한다. 엘리베이터의 속도제어는 이 이상운동곡선을 실현함으로써 민속성과 쾌적성을 동시에 만족시키도록 하고 있다. 승차감은 가감속도의 크기와 가가속도(가감속도의 시간변화율)의 크기에 따라서 좌우된다. 기어리스 엘리베이터와 같이 승차감을 중요시하는 것은 최대 가감속도를 0.8~0.9m/sec2으로 조정하고 최대 가가속도는 1.0~1.3m/sec2으로 조종하지만 기어드 엘리베이터 혹은 유압엘리베이터는 이보다 더 큰 경우도 있다.

그러나 승차감을 느끼는 감각은 사람에 따라서 다른 것이고 예를 들어 엘리베이터를 자주 타서 익숙해진 사람은 어쩌다 타는 사람과 비교

하면 가감속도와 가가속도가 큰 경우에는 불쾌감을 별로 느끼지 않는다. 그러므로 엘리베이터에 길들여진 사람이 많고 운행효율도 중시하는 업무용 빌딩은 가감속도와 가가속도의 값을 앞의 것 보다 높게 잡는 일도 있다.

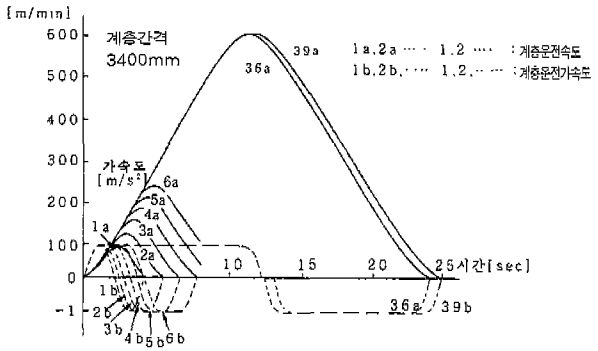

그림 3.6.1 이상 운전곡선

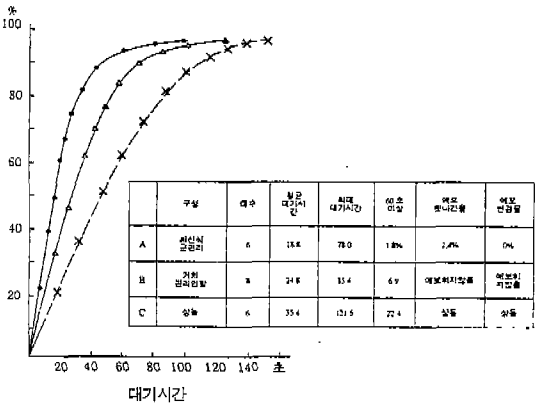

그림 3.6.2 대기시간 누적도 분포

나. 군관리의 목적과 기능

(1) 군관리의 목적

엘리베이터의 수가 1~2대인 경우는 간단한 운전관리를 하여도 된다. 그러나 3~8대인 경우는 운전효율을 높이고 승객에게 민속성과 심리적 쾌적성을 제공하기 위하여 군관리를 한다. 그림 3.6.2는 군관리를 한 경우와 하지 않은 경우를 시뮬레이션하여 비교한 것으로 그림을 보면 알 수 있는 것과 같이 군관리하면 엘리베이터 수를 8대에서 6대로 줄이더라도 대기시간이 단축된다. 보통 군관리는 120m/min 이상의 고속 엘리베이터에 적용되고 105m/min 이하는 1~2대의 (군)승합방식(selective collective)이 일반적이다.

한편, 대기시간은 군관리의 성능을 평가하는 대상중 하나이지만 주로 평균치와 장시간 대기율이 적용된다. 평균치가 작을수록 운전효율이 높고 장시간 대기율이 작을수록 승장에서 대기하는 사람의 초조함은 줄어든다. 일반 업무용 빌딩은 평균 20초 이하이고 60초 이상 장시간 대기가 수% 이하되는 것이 좋다. 경험상으로 30초 이상 기다리게 되는 확률이 30%를 초과하면 이용객의 불만이 많아진다.

(2) 군관리의 기능

엘리베이터의 군관리 기능을 크게 나누면

① 카 내의 운전(출발, 정지 등)을 관리하는 기능

② 빌딩내 교통상태의 변동에 적응하는 기능

③ 엘리베이터의 운전상태를 승장에서 기다리는 사람에게 알리는 표시기능

등이 있고, 이들 각 기능에 관한 설명은 생략하겠다.

다. 엘리베이터의 에너지 소비

(1) 로프식 엘리베이터

로프식 엘리베이터는 두레박식으로 되어 있어 균형추는 카내의 승객이 정원의 40~50%인 때에 카와 균형추의 토크가 평형되도록 설정되어 있고 전원설비용량과 권상전동기의 소요출력을 최소로하기 위하여 일반적으로 50%를 채택한다. 이와 같이 해놓으면 정격부하를 탑재한 카를 상승시킬 때나 텅빈 카를 하강시킬 때에 권상전동기의 출력이 동일하게 된다.

이와 같이 두레박식이기 때문에 카내의 승객수와 운전방향에 따라서 역행(전원에너지를 공급)과 회생(전원에너지를 반환)의 양방향 운전을 하게 된다. 다시 말하면 만원의 승객을 윗층으로 올리기 위하여 필요했던 에너지는 승객의 위치 에너지로 변환되고 이 승객이 다시 아래층으로 내려올 때에 전원측으로 회생된다. 그러므로 엘리베이터에서 실제로 소비되는 전력은 권상전동기와 승강로에서 소비된 손실분 및 제어장치와 관리 장치 등에서 소비되는 것, 기타 조명표시등 같은 기구에서 소비되는 것의 합계이다.

엘리베이터는 부하와 운전모드가 복잡하게 변화하기 때문에 소비전력을 정확하게 계산하려면 컴퓨터의 힘을 빌릴 수밖에 없지만 개략계산의 하나로 다음 방법이 있다. 다만 아래와 같은 가정을 한다.

(가) 1회 기동에 대하여 엘리베이터의 주행거리는 대체적으로 일정한 것으로 한다.(평균주행거리)

(나) 아침 저녁 등의 피크 시간대를 빼고 나머지 하루동안은 상승시와 하강시의 승객수는 거의 같다.

이런 가정하에 평균주행거리에 대하여 카내의 승객과 상승시 하강시의 소비전력 관계를 조사하면 그림 3.6.3과 같이 된다. 그림을 보면 카내 승객의 중량이 균형추의 중량과 평형되는 50% 부근에서 운전하면 최소의 전력량으로 되고 그보다 승객이 많던 적던 소비전력량은 증가한다. 한편 엘리베이터는 대부분의 시간대에 걸쳐서 카 내에 승객이 없는(무부하에 가까운)상태로 운전되기 때문에 무부하로 상승하고 하강할 때의 평균 소비전력량$(W_{01}+W_{02})/2$ 에다 기동회수 F를 곱하고 다시 정지 상태의 소비전력량 kW_{h0} 을 가산하면 된다. 즉

$$\text{소비전력} = \frac{W_{01}+W_{02}}{2} \times F + kW_{h0}[kWh]$$

그림 3.6.4는 실측 데이터를 근거로 기동회수를 알면 소비전력을 산출할 수 있도록 규격화한 그래프이다. 기동빈도는 빌딩의 종류, 규모;

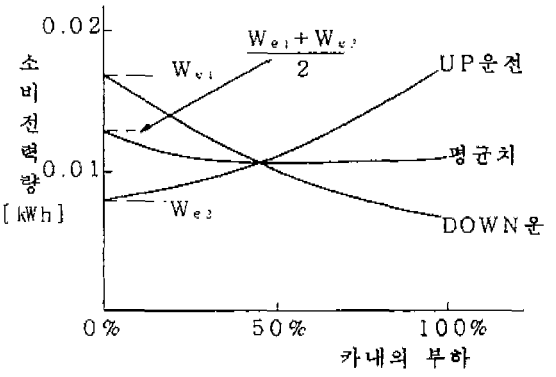

그림 3.6.3 엘리베이터의 소비전력(승강행정bm)

표 3.6.2 로프식 엘리베이터의 평균 기동빈도[회/h]

	업무용빌딩	주 택	호 텔	병 원	백화점
직류기어리스	70	-	80	83	70
직 류 기 어 드	50	38	54	73	60
교 류 2 단 속 도	28	25	34	37	38
유 압	40	20	45	-	-

엘리베이터의 용도, 시간대 등에 따라서 변하는 것이므로 주야 1주일간의 평균 기동빈도를 적용한다. 표 3.6.2는 평균 기동빈도이다.

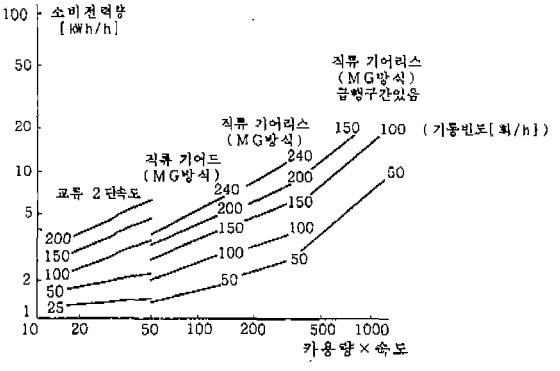

그림 3.6.4 로프식 엘리베이터의 소비전력

실제로 그림 3.6.4를 이용하여 엘리베이터 소비전력을 대체적으로 계산하려면 상 하 양직선간을 기동빈도로 비례배분하면 된다. 예를 들어

적재용량 = 1.3t(20인승)
카 속 도 = 150 m/min
기동빈도 = 70회/h

라면 그림 3.6.4에서 1.3×150=195〔t m/min〕인 때의 소비전력을

기동빈도 50회/h ---------- 2.85 kWh
기동빈도 100회/h ----------4.8 kWh

이다. 따라서 기동빈도 70회/h인 때의 소비전력은

$$2.85+(4.8-2.85)\times\frac{70-50}{100-50}=3.6\text{kWh}$$

이다.

(2) 유압엘리베이터

유압엘리베이터는 균형추가 없으므로 일반 로프식 엘리베이터보다 펌프모터의 소요출력이 커야하고 다음 식으로 나타낸다.

$$\text{소요출력}=\frac{P\times Q}{612\times\eta_h}\text{〔kW〕}$$

여기서 P : 펌프압력〔kg/cm2〕
Q : 펌프토출량〔ℓ/min〕
η_h: 펌프 효율

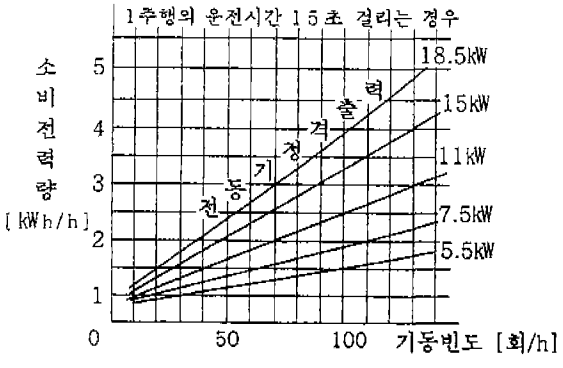

그림 3.6.5 유압식 엘리베이터 소비전력량

유압 엘리베이터의 평균 승객 수에 대한 기동빈도와 소비전력량의 관계는 그림 3.6.5와 같고 기동빈도는 표 3.6.2의 값을 적용하면 된다.

라. 제어 방식의 개선에 의한 에너지절약

(1) 직류 엘리베이터

그림 3.6.6은 워드레오너드(MG)방식 직류 기어리스 엘리베이터의 소비전력을 분석한 예이다. 직류 엘리베이터는 오래전부터 워드레오너드방식을 채택하고 있는데 이 방식은 직류분권전동기를 사용하고 전기자에 인가하는 전압을 바꿔서 전동기의 회전수를 제어한다. 그러므로 3상 교류전원에서 직류를 얻기 위하여 MG세트를 사용하고 있다.

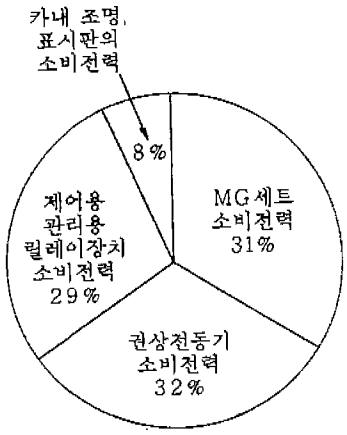

그림 3.6.6 직류 기어리스 엘리베이터의 소비전력(MG방식)

사이리스터 레오너드 방식은 사이리스터를 사용하여 교류를 직접 직류로 변환하기 때문에 변환효율이 MG방식보다 훨씬 높다. 엘리베이터용 사이리스터 레오너드는 여러 가지 방식이 있지만 그림 3.6.7은 현재 엘리베이터용으로 가장 많이 채택하고 있는 이중 콘버터형 무순환 전류방식이고 전력의 절감효과는 물론 신뢰성이

높다. 그림에서 보는 것과 같이 전동기의 계자는 다른 정류기를 통하여 거의 일정한 전류로 여자되고 있다. 속도지령 발생장치에서 나오는 속도지령은 전동기에 부착된 속도계발전기의 (TG)의 출력과 비교 대조되고 그 편차에 의하여 컨버터1 또는 컨버터 2의 사이리스터가 위상각 제어되어 임의의 직류전압이 전동기의 전기자에 인가되므로 속도제어가 이루어진다. 3상 교류회로에 삽입한 변류기(CT)는 권상전동기의 전류를 피드백하여 컨버터 1, 2를 동시에 점호시키지 않도록 연동(interlock)을 취하고 있다.

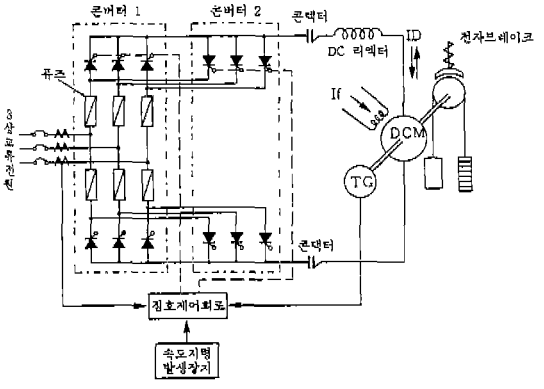

그림 3.6.7 무순환 전류방식 사이리스터 레오너드의 구성도(예)

그러면 사이리스터 레오너드 방식 엘리베이터가 워드레오너드식 엘리베이터보다 얼마나 에너지를 절약할 수 있는지 구체적으로 살펴보자. 한 예로 출력 21kW의 전동기와 짝짓는 변환기에 규약효율은 MG가 81%이고, 사이리스터 레오너드는 92%인데 엘리베이터는 자주 기동 정지를 반복하게 되고 운전 모드도 다양하므로 각 빌딩의 성격에 따라서 결정되는 각 운전 모드에 대한 소비전력을 적산하여야 한다. 또 사이리스터 레오너드 방식은 MG세트 기동시와 무부하 완속운전(idling)시의 전력소비가 없어진다는 것도 고려할 필요가 있다. 그림 3.6.8은 전동기 출력 21kW의 기어리스 엘리베이터의 제어장치 등 모든 것을 포함한 소비전력을 실측한 예이고 정확한 에너지 절약계산은 이와 같은 실측예를 근거로 컴퓨터 시뮬레이션으로 구할 수 있다.

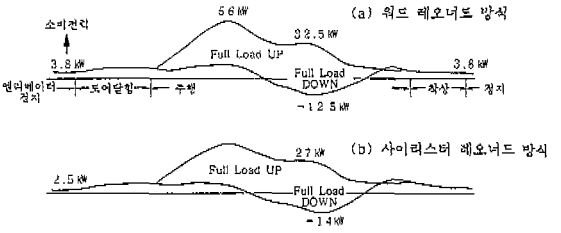

그림 3.6.8 무기어리스 엘리베이터의 소비전력 실측 예 (전동기 출력: 21kW)

그 결과 보통의 전형적 빌딩에서 사이리스터 레오너드방식이 워드 레오너드식보다 25% 이상 에너지가 절약된다는 것을 알았다. 이 에너지 절약효과를 실제 빌딩에서 검증하여 얻은 결과가 표 3.6.3이다.

표 3.6.3 실제 사용현장에서 소비전력 비교
(엘리베이터 정격 240m/min, 1150kg, 인하용)

	워드레오너드식	사이리스터 레오너드식
측 정 기 간	7일	7일
엘리베이터 기동회수	11,937회	11,937회
소비전력/7일	953kWh	722kWh
소비전력/ 일	136kWh	103kWh
소비전력비	1	0.757

이는 동일 엘리베이터를 워드 레오너드식과 사이리스터 레오너드방식으로 각각 7일간 운전하여 소비전력을 실측한 것으로 위의 시뮬레이션 결과와 거의 일치한다.

그런데 엘리베이터의 소비전력은 전동기와 구동제어장치 및 제어장치 등 각 부에서 소비되는 것의 합계로 되고 앞에서 설명한 것과 같이 MG세트를 사이리스터 레오너드 방식으로 교체

하여 25%의 에너지를 절약하게 되었지만 좀더 절약할 여지가 있을 것 같다. 이런 관점에서 제어용 장치와 관리용 장치를 종전의 릴레이방식에서 컴퓨터방식으로 바꾸어 소비전력을 줄이고 동시에 엘리베이터가 정지된 때는 전동기의 계자전류를 차단하여 권상전동기의 소비전력도 줄여서 합계 35%까지 에너지를 절약할 수 있는 솔리드 스테이트 제어시스템도 개발되었다.

(2) 교류 엘리베이터

교류엘리베이터는 과거부터 교류 1단 또는 교류 2단제어방식을 주로 사용하였다. 교류 1단제어 방식은 농형 유도전동기의 1차측에 접속된 저항을 순차 단락하여 기동하고 그 이후는 전동기의 토크-슬립 특성에 따라서 가속되어 카내의 부하토크와 어울리는 슬립으로 주행하게 된다. 정지하기 전 정해진 점에서 감속시작 지령이 나오면 전동기의 급전을 중단하고 동시에 브레이크를 건다. 이 방식은 전자 브레이크의 기계적 제동력에 의하여 착상 동작을 하기 때문에 카내의 부하나 브레이크 토크의 변동에 의하여 지정점이 변동한다. 이런 변동은 거의 속도의 제곱과 비례하므로 교류 1단제어방식은 보통 30m/min이하에 사용한다. 이보다 빠른 엘리베이터에는 교류 2단제어 방식이 사용되었다. 이 방식은 유도전동기에 고속권선과 저속권선 2권선을 설치한 것으로 출력이 작은 경우는 농형이 사용되고 큰 경우는 권선형이 사용된다. 속도비는 일반적으로 4 : 1의 것이 사용되기 때문에 가령 60m/min의 엘리베이터이면 15m/min의 교류 1단제어 방식과 똑 같은 착상오차가 생긴다. 기동할 때는 고속권선에 급전하여 교류 1단제어방식과 같이 1차측에 접속된 저항을 순차 단락하는 저항제어를 한다. 감속은 고속권선의 급전을 중단하고 동시에 저속권선에 전압을 인가하고 저속전동기의 회생제동을 이용하여 감속시킨다.

에너지 절약형으로 속도 60m/min이하용 교류 귀환방식이 개발되었다. 이 방식은 관성에너지가 직류 제동시 열로 소비된다는 것을 감안하여 관성 에너지를 줄이고 한편으로 관성 에너지를 줄인 것 때문에 토크 변동시 생기는 충격을 완화하는 제어회로를 개발하는데 주안점을 두어 에너지 절약 목적을 달성한 것이다. 그림 3.6.9는 제어계의 구성도이다.

가속할 때는 시간과 더불어 증가하는 가속신호를 속도지령 발생장치에서 점호 제어회로에 보내고 전동기의 1차측에 삽입한 트라이액을 점호각 영 즉 기동토크 영의 상태부터 전점호의 3상 전전압 인가상태까지 연속 속도제어하여 매끄러운 기동 가속을 하게 된다. 가속이 끝나면 접촉기로 트라이액을 단락하고 전동기에 3상전전압을 인가하여 일정속도로 주행시킨다. 감속할 때는 속도계 발전기 TG로 검출한 속도신호와 속도지령으로 비교하여 그차이에 따라서 감속토크를 제어한다.

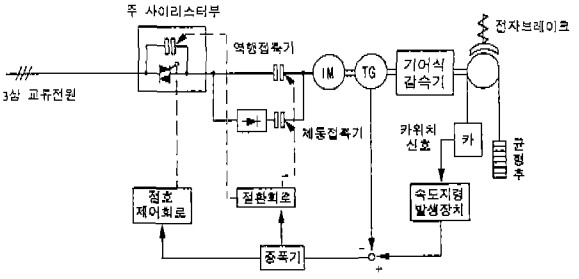

그림 3.6.9 60m/min 이하용 교류귀환방식의 구성도(예)

그러나 이것만 가지고는 3상 역행토크를 직류제동토크로 전환할 때 부하 때문에 큰 토크 낙차가 생겨서 급격한 감속도로 되기 때문에 승차감을 해치게 된다. 또 제동제어만 하면 만원상태로 카가 상승할 때와 같이 제외하지 않더라도 자연 감속되는 경우는 엘리베이터가 착상위치에 오기전에 미리 멈추기 때문에 관성량을 작게 할 수 없었다. 그러나 새 방식은 역행제어방식을 도입하여 기계계의 관성량을 줄이게 되었다. 즉, 카가 만원상태로 상승할 때 또는 빈채로 하강할 때에 전동기는 부하토크에 대응하는

역행토크로 회전한다. 감속할 때는 전동기를 3상 교류전원에서 떼어내면 전동기 토크가 갑자기 영으로 되기 때문에 큰 토크 낙차가 생기는데 이에 대한 대책으로 감속 시작점에서 전동기를 일단 단상으로 하여 토크 낙차를 작게 하고 그 이후는 트라이액을 제어하여 단상 토크를 서서히 줄이고 속도신호가 거의 일치하는 점에서 직류제어토크로 전환하면 급격한 토크 낙차도 안생기고 부드럽게 감속할 수 있다. 또 감속 시작점 이후에 필요한 관성에너지를 단상 역행운전으로 보충하여 기계계의 관성량을 줄이고 있다.

한편 90, 105m/min용 엘리베이터는 주행거리가 짧은 1층만 운행할 때에 좋은 가감특성을 얻기 위하여 정격속도를 내지 않는 부분속도 운전을 할 필요가 있다. 이 방식의 제어회로 구성은 그림 3.6.10과 같다. 속도계 발전기 TG에서 검출한 속도신호와 속도지령을 비교하여 그 차이에 따라서 역행제어용 사이리스터 또는 제동제어용 사이리스터 중 어느 쪽인가를 선택 제어하여 전동기의 역행토크와 제동토크를 귀환제어 할 수 있도록 구성되어 있다. 그 결과 1개층만 운행할 때는 기동부터 정지까지 역행 제동 양면의 제어를 하게 된다.

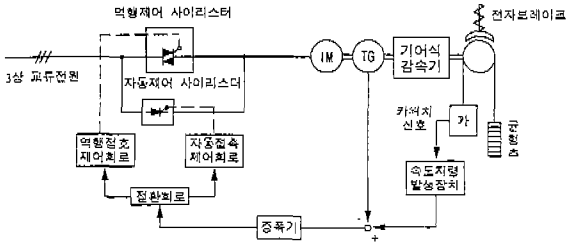

그림 3.6.10 90, 105m/min용 교류귀환 방식의 구성도(예)

정격속도로 주행하고 있을 때는 역행제어 사이리스터를 전점호하여 전동기에 3상전압을 인가하고 전동기의 토크특성과 부하특성에 의하여 결정되는 속도로 주행하게 하여 전동기의 발연과 소비전력을 억제한다. 감속하기 시작하면 귀환제어로 이행하는데 절환할 때에 토크의 불연속이 생기지 않는 절환회로가 있으므로 60m/min이하용과 같이 기계계의 관성을 줄일 수 있고 따라서 소비전력도 경감된다.

최근 마이크로 컴퓨터를 교류귀환방식의 표준형 엘리베이터에 채택한 솔리드스테이트 제어시스템이 개발되었다. 이 마이크로 컴퓨터를 이용하여 과거 전자 릴레이로 하던 시퀀스 제어를 거의 다 실행하고 승객이 없을 때 카 내의 조명을 자동소등 환기선의 자동정지와 같은 세부적인 제어로 한다. 동시에 최적 속도지령치를 발생할 수 있어 소비전력을 더 줄일 수 있게 되었다. 나아가 저전력의 네온램프를 표시등으로 사용하고 카를 경량화하여 기계계의 관성을 줄였다. 이들을 종합하면 종전방식보다 소비전력을 약 20%경감할 수 있다.

(3) 유압 엘리베이터

유압 엘리베이터는 적재하중을 포함한 카의 총중량을 올리고 내리기 때문에 로프식 엘리베이터보다 전동기의 용량이 커야 한다. 또 상승운전할 때만 유압펌프를 구동하고 하강운전은 자중에 의한 하강방식을 취하기 때문에 로프식과 같은 회생이 없고 위치 에너지는 전부 열로 변한다. 따라서 로프식보다 전력소비량이 많다. 유압엘리베이터의 운전과 소비 에너지의 관계를 그림 3.6.11과 같이 나타낼 수 있다.

유압 엘리베이터의 소비전력은 대부분 구동 전동기에 의한 것이고 에너지를 절약하기 위하여 다음과 같은 점이 중요하다.

(가) 카의 자중과 플랜저의 자중을 경감하여 압상하중을 감소한다.

(나) 압력손실이 적은 밸브, 사이렌서 등 기기를 사용한다.

(다) 유압펌프를 가장 효율이 좋은 압력 및 유량범위에서 사용한다.

특히 (가)의 압상하중을 줄이면 거기서 얻게 되는 에너지 절약 효과가 크다. 따라서 카의 경

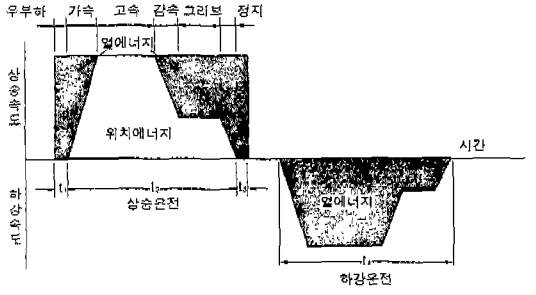

그림 3.6.11 유압식 엘리베이터의 운전과 소비에너지

량화가 추진되어 최근에는 카의 총중량을 종전의 것의 60%로 줄이게 되었고 그 결과 유압펌프 모터의 용량을 1~2단계 작게하여 에너지 절약 목적을 달성한 것도 개발되었다.

마. 관리방식의 개선

(1) 헛된 주행의 감소

1주 운전방식은 상 하 출발층 사이를 왕복운행하기 때문에 도중에서 응답해야 하는 호출이 없어도 출발층까지 빈 상태로 주행하게 되므로 헛되게 전력을 소비하는 일이 많다. 그러나 구역 할당방식이나 승장호출 할당 방식을 채택하면 응답해야 하는 호출에 따라서 운행한 후에 맨 나중에 응답한 층에서 도어를 닫은 상태로 다음 호출이 있을 때까지 대기하도록 하였기 때문에 1주운전 방식과 같이 헛된 주행을 하는 일이 없다. 1주운행방식을 할당방식으로 바꾸면 약 5%정도 에너지가 절약된다.

(2) 엘리베이터의 운행정지

야간이나 휴일 등 교통이 한산하여 엘리베이터가 대기상태로 되어 소정시간(보통 3분)을 경과하면 카내의 조명등과 환기선, 제어반, 구동장치 등의 전원을 자동차단하여 절전하는 것, 말하자면 자동정지하는 것이다.

최근 컴퓨터를 이용한 군관리 시스템에서 각 엘리베이터마다 절전을 목적으로 섬세한 자동정지 운전을 하게 되었다.

종전에는 운전대수의 조정을 빌딩 관리자가 수동으로 하였기 때문에 관리자의 부담이 컸었고 빌딩 내의 교통량 변화에 적응하기도 어려웠다. 그러나 군관리 시스템은 컴퓨터의 장점을 활용하여 그림 3.6.12와 같은 운전대수 제어방식을 채택하고 있다. 이 방식은 교통량의 변화에 맞추어 미리 설정되어 있는 서비스 수준을 유지하기 위하여 필요한 운전대수를 자동조정하는 것으로 빌딩 관리자의 부담을 덜 수 있고 나아가서 소비전력의 절감과 직결된다. 그러므로 전력사정이 좋지 않은 경우에 서비스 수준을 다소 희생하더라도 절전하는 것이 좋다고 판단되면 설정치를 조정하여 운행정지 대수를 늘릴 수도 있다.

다음호에 계속됩니다