

인버터제어 승강기의 전력소비 특성과 전원설비 계획에 관한 연구

(A Study on the Characteristic of Power Consumption and Design of the Electrical Installations for the Inverter Controlled Elevator)

이기홍* · 성세진**

(Ki-Hong Lee · Se-Jin Seong)

요 약

본 연구에서는 다양한 기종의 인버터제어승강기 전력소비특성을 분석하였다. 특히, 전부하상승전류는 기종별로 표준적인 기준치를 제시하였으며, 그 결과 아파트에 시설되는 인버터제어 승강기의 경우, 전부하상승전류의 크기는 기종별로 기존의 기준치 보다 3[A]~7[A] 정도 작아지는 결과를 얻었으며, 동력변압기 용량은 기종별로 기존 기준치 대비 약 0.5[kVA]~3[kVA] 정도 작은 용량이 적정 용량인 것으로 분석되었다. 또한 전원설비 계획으로서 인버터제어 승강기의 운행 정지사태를 최소화하기 위한 2회선 수전방식 및 2계통 배전 등의 다양한 전원확보방안을 제시하였다.

Abstract

This paper analysed the characteristic of Power consumption at many type of Inverter controlled Elevator. Especially, this paper proposed the standard value of full load currents. For this propose, it was classified by the passenger capacity and manufacture company. As a result, it is found that (i) the value is between 3[A] and 7[A] in case of elevator. That means the full load currents was smaller than the standard value of conventional operation type. (ii) the value is between 0.5[kVA] and 3[kVA] in case of Power transformer. That means the transformer capacity was smaller than the standard value of conventional operation type. It was classified by the passenger capacity at inverter controlled elevator in apartment. Also, to guarantee the operation stop of inverter controlled elevator, this paper proposed the redundancy method of electrical installations. the redundancy method is (i) 2 line service system and (ii) 2 distribution line system.

1. 서 론

최근 건축물이 고층화 됨에 따라 수직 교통수단으로서의 승강기는 그 중요성이 더욱 부각되고 있다.

* 정회원 : 대한주택공사 주택연구소 연구원

** 정회원 : 충남대학교 전기과 교수

접수일자 : 2001년 1월 26일

이에 따라 승강기에 대한 기술발전은 기존의 인버터화에 의한 에너지절약 뿐만 아니라 외장성, 기능성, 안전성 등과 같이 쾌적성이나 서비스 향상 등을 위한 각종 기술개발까지도 활발히 이루어 지고 있다[1].

또한 건축물이 초고층화, 대규모화 되어 감에 따라 이에 부응하기 위한 다양한 기종의 승강기들이 개발되고 있다. 따라서 최적의 전원설비용량 산정이

나 전원설비계획을 구현하기 위해서는 다양한 승강기의 전력특성들을 고려할 수 있는 표준적인 전력소비특성 기준을 필요로 한다. 그러나 국내의 경우 전원설비 용량산정시에 사용되는 전부하 상승전류값등과 같은 승강기 전력소비특성들을 제조사마다 큰 차이로 서로 다르게 제시하고 있어 인버터 승강기에 대한 변압기 용량과 전선단면적 등의 전원설비 설계시에 혼란이 초래되고 있다[2].

따라서 본 연구에서는 전부하상승전류, 역률, 고조파, 전력 등과 같이 각종 인버터 승강기의 전력소비특성들을 현장에서 실측하여 표준적인 값들을 제시하는 한편, 인버터 승강기의 전원설비 계획시 고려되어야 할 사항들을 제시하고자 한다.

2. 인버터제어 승강기의 구성과 운전

2.1 인버터제어 승강기의 구성

건축물에 일반적으로 시설되고 있는 로프식 승강기는 사람 또는 화물을 탑재하는 카(CAR)와 그 반대편의 로프에 설치되어 있는 균형추(Counter Weight), 그리고 이들을 구동하는 전동기와 권상기, 전제시스템을 제어하는 제어부 등으로 구성되어 있다. 제어부는 기술발전에 따라 현재는 기존의 DB(Dynamic Braking)제어방식에서 벗어나 인버터제어방식을 적용하고 있는데 그 이유는 인버터제어방식의 경우 매우 부드러운 속도특성을 얻을 수 있고 정확한 착상, 승차감 향상, 고역률 및 소비전력 절감 등의 많은 장점을 갖고 있기 때문이다.

그림 1은 이러한 인버터제어 승강기 시스템의 구성도를 나타낸다.

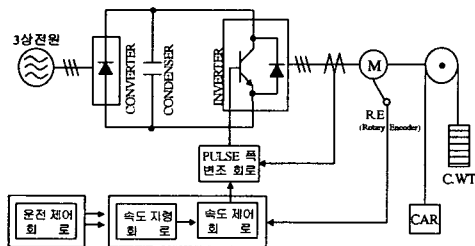


그림 1. 인버터제어 승강기의 구성도
Fig. 1. The block diagram of inverter controlled Elevator

2.2 승강기의 운전과 소비전력

인버터로 제어하는 로프식 승강기는 운전상태에 따라 그림 2와 같은 전력소비특성을 나타낸다. 즉, 운전상태에 따라 소비되는 전류는 가속부분의 과도 상태에서 소비되는 가속전류와 속도가 일정한 정상 운전상태에서 소비되는 정상전류로 분류하여 나타낼 수 있다.

그림 2와 같이 인버터 제어방식의 승강기는 교류 제동제어(DB: Dynamic Braking)방식의 승강기보다 가속부분에서 그 크기가 매우 낮게 나타나고 있는데 그 차이에 해당되는 면적의 크기가 바로 절약되는 에너지량을 나타낸다.

이러한 가속전류의 크기는 주로 발전기 용량산정시에 활용되며 정상운전상태의 전류인 전부하상승전류는 변압기 용량산정에 주로 사용된다[3].

그러나 이러한 전력소비상태는 부하의 상태와 카의 운전방향에 따라서 그 크기가 달라진다. 즉, 로프식 승강기의 경우에는 그림 3과 같이 카(CAR)가 무부하 상태에서 상승할 때는 균형추의 무게에 의하여 작동되므로 전력소비가 없고, 반면에 무부하 하강시에는 전부하 상승시에 해당하는 전력이 소비된다.

그것은 균형추(카운터웨이트)의 무게를 식 1과 같이 산정하여 설치하기 때문이다.

$$\text{균형추(카운터 웨이트) 중량} = \text{카의 무게} + \text{정격적재중량(정원)} \times 0.5(0.4 \sim 0.5) \quad (1)$$

따라서 전부하상승시의 소비전력은 무부하하강시의 전력과 거의 비슷하며 전부하 하강시의 전력소비는 없다. 이것은 부하상태와 운동방향을 변수로 하는 로프식 승강기의 4상한 운전 특성 때문이다[4].

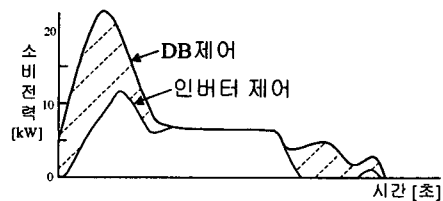


그림 2. 인버터제어 엘리베이터 시스템의 전력소비 특성
Fig. 2. The Characteristic of Power Consumption at Inverter controlled Elevator.

3. 승강기의 전력소비특성 측정

3.1 측정방법 및 측정내용

승강기의 전력소비 특성은 일반적으로 전부하 상승전류, 역률, 고조파, 전력 등으로 나타낸다. 본 연구에서는 엘리베이터의 각 기종별 전력소비특성에 대한 기준을 수립하기 위해 전력분석기를 이용하여 4개 제조사의 각 기종별 전력소비특성을 측정하였다.

측정방법은 각 제조사별 최신 기종의 엘리베이터가 설치되어 운행되고 있는 아파트 현장에서 정격부하의 분동(Weight : 승강기 부하시험시 카에 부하로서 적재하는 쇠뿔치)을 실은 상태로 운행하면서 그림 4와 같이 인버터 입력단에서 전부하 상승전류, 역률, 고조파, 전력 등을 실측하였다.

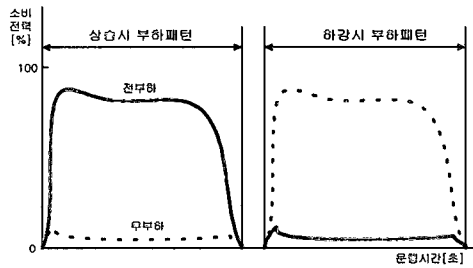


그림 3. 부하상태에 따른 로프식 승강기의 전력 소비 패턴
Fig. 3. The Pattern of Power Consumption by change of Load conditions in Roped Elevator

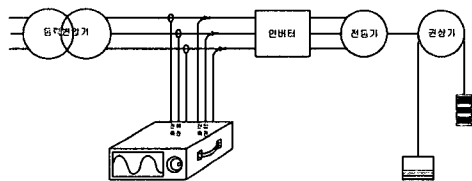


그림 4. 엘리베이터의 전력소비특성 측정 개념도
Fig. 4. The Schematic diagram of measuring

3.2 측정결과

3.2.1 전부하상승전류의 측정결과

본 연구에서는 그림 4와 같은 방법으로 아파트에 시설되는 승강기를 대상으로 각 제조사별로 전부하

상승전류치를 측정하고 표준적인 기종별 기준치를 도출하였다. 각 기종별로 전부하 상승전류의 기준치를 도출하는 방법은 각 제조사별, 기종별로 측정된 데이터들을 가지고 신뢰수준 95%에서의 신뢰구간 최대값을 기준치로 선정하는 방법을 택하였다.

또한 측정이 이루어지지 못한 일부 기종들에 대해서는 승강기 관리원로부터 승강기 완공 검사시 측정한 데이터들을 제공받아 같은 방법으로 기준치를 도출하였다. 이와 같이 도출된 기준치에 안전율 20%를 고려한 전부하 상승전류 최종 기준치가 표 1이다.

3.2.2 역률의 측정결과

각 승강기 기종마다 측정한 역률 값은 표 2와 같다. 표 2에서 역률값이 제시되지 않은 기종은 측정이 이루어지지 못한 기종을 나타낸다.

표 1. 승강기의 전부하 상승전류
Table 1. Full Load Current of Elevators

인승	11			13			15			17		
속도 [m/min]	60	90	105	60	90	105	60	90	105	60	90	105
현행 기준치[A]	21	32	32	23	37	42	26	41	42	28	44	46
연구결과 기준치[A]	21	26	33	22	31	35	25	32	40	31	38	42

표 2. 승강기 기종별 역률 측정치
Table 2. The measuring value of Power factor

	속도 [m/min]	A사 [%]	B사 [%]	C사 [%]	D사 [%]
13인승	60	89	-	75	89
	90	94	72	77	-
	105	94	-	-	-
15인승	60	87	73	76	90
	90	94	75	80	80
	105	94	-	-	-
17인승	60	93	71	75	93
	90	-	79	75	-
	105	94	71	74	-

3.2.3 고조파의 측정결과

제조사별, 기종별로 측정된 인버터 승강기에서의 총합 고조파(THD) 발생량은 표 3과 같다.

표 3에서와 같이 승강기의 제조사에 따라 고조파의 발생량이 크게 다르게 나타나고 있다.

일부 제조사의 경우 고조파가 크게 발생되고 있음을 알 수 있다.

표 3. 기종별 인버터제어 승강기의 총합 고조파
Table 3. The Total Harmonic Distortion of Inverter controlled Elevator

	속도 [m/min]	A사 THD[%]		B사 THD[%]		C사 THD[%]		D사 THD[%]	
		V	A	V	A	V	A	V	A
		13인승	60	3.1	49	-	-	2.7	87
	90	3.0	34	2.8	93	3.6	84	3.3	59
	105	3.1	33	-	-	-	-	-	-
15인승	60	2.6	53	3.4	91	2.6	85	1.4	42
	90	2.9	34	4.7	81	3.7	74	2.3	76
	105	3.5	30	-	-	-	-	-	-
17인승	60	1.6	38	2.3	101	2.7	88	3.0	33
	90	-	-	4.6	75	3.1	85	-	-
	105	3.5	30	-	-	-	-	-	-

3.2.4 승강기 수용률

일반적으로 건축물에는 여러대의 엘리베이터가 설치된다. 이때 다수의 엘리베이터가 항상 운전되고 있다고는 할 수 없으므로 엘리베이터에 대한 전원설비 용량 산정시에는 승강기 수용률(대수별 환산치)을 적용한다[5]. 이 승강기 수용률은 건물의 용도 및 특성에 따라 다르게 나타난다. 공동주택(20층, 계단식)을 대상으로 산출한 승강기 수용률은 표 4와 같다.

표 4. 아파트(20층, 계단식)의 승강기수용률
Table 4. The demand factor of Elevator in apartment (Type is 20 floors and stairways)

승강기 대수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
승강기 수용률	100	90	85	78	72	57	54	52	51	49
승강기 대수	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
승강기 수용률	48	47	46	45	45	44	44	43	43	42

3.2.5 소비전력의 측정결과

각 승강기 기종마다 측정된 소비전력값은 표 5와 같다. 표 5에서 소비전력값이 제시되지 않은 기종은 측정이 이루어지지 못한 기종이다.

표 5. 전부하 상승시의 승강기 기종별 소비전력 측정치
Table 5. The measuring values of Power consumption at rising in full load conditions

	속도 [m/min]	A사 [kW]	B사 [kW]	C사 [kW]	D사 [kW]
13인승	60	10	-	8	8
	90	14	12	11	-
	105	15	-	-	-
15인승	60	10	10	9	9
	90	13	13	11	13
	105	18	-	-	-
17인승	60	11	10	12	11
	90	-	17	15	-
	105	17	15	-	-

4. 전원설비의 용량산정과 계획

4.1 전원설비 선정조건

4.1.1 전압강하 및 주위온도

일반적으로 승강기는 운전조건, 부하조건에 의해 소비전력이 크게 변화한다. 전원설비와 전력간선도 그 조건에 적합하여야 하는데 이러한 설비들의 용량 산정시 선정조건으로서 전압강하와 주위온도를 들 수 있는데 그 조건들은 다음과 같다.

변압기 및 전력간선의 전압강하는 일반적으로 승강기의 가속전류시 변압기에서와 전원선에서 각각 5%(승강기 정격 기준)이하이어야 한다. 즉, 총 전압강하는 10%이하이어야 한다.

또한 승강기 기계실의 주위온도는 40℃, 수변전실에서 승강기 기계실 사이의 전원선 주위온도는 30℃(도체온도는 50℃)로서 각각 계산한다.

4.1.2 전압강하계수(K)

교류전원의 전압강하는 동일전선에 똑같은 크기의

전류를 흘린 경우에도 역률이나 주파수에 의해 변한다. 저항분만에 의한 전압강하와 역률이나 주파수를 고려한 전압강하와의 비를 전압강하계수라 한다.

전압강하계수의 일례로서 내선규정(2000년판)에서는 참고자료로 표 6과 같이 제시하고 있다[7].

표 6. 전압 강하 계수
Table 6. The voltage drop factor

전선규격 [mm ²]	2	3.5	5.5	8	14	22
역률 90[%]	0.910	0.910	0.929	0.942	0.955	0.988
역률 80[%]	0.814	0.826	0.840	0.857	0.876	0.921
전선규격 [mm ²]	38	60	100	150	200	250
역률 90[%]	1.049	1.106	1.248	1.432	1.579	1.776
역률 80[%]	1.004	1.004	1.0280	1.533	1.735	2.007

4.1.3 승강기 수용률(Y)

복수대의 승강기에 일괄해서 전원을 공급하는 경우 변압기, 과전류차단기 및 전원선의 용량은 대수배의 용량이 아니고 대수별 환산치인 승강기 수용율을 곱해서 저감할 수 있다.

승강기 수용률은 본래 승강기의 사용빈도와 관계되므로 교통량이 많은 건물에서는 수용률값이 높고 교통량이 적은 건물에서는 수용률값이 낮다.

아파트(20층, 계단식)를 대상으로한 승강기 수용률은 표 4와 같다.

4.2 전원설비 용량 산정

이상의 조건을 바탕으로 하여 변압기, 전력간선, 과전류차단기 등의 용량은 다음과 같은 방법으로 산출한다.

4.2.1 변압기 용량

인버터 승강기에 대한 변압기 용량은 식 1과 같이 산출한다.

$$\text{변압기 용량[kVA]} \geq \sqrt{3} \times V \times I_{fu} \times k \times 10^{-3} \quad (2)$$

단, V : 정격전압[V], I_{fu} : 전부하 상승전류[A]

k : 인버터승강기에 적용되는 계수
(0.6 또는 0.7)

본 연구에서 측정한 전부하 상승전류치(표 1)를 식 2에 대입하여 승강기 기종별 변압기 용량을 산출하면 표 7과 같다. 표 7에서와 같이 본 연구에서 산출한 변압기용량은 현행 기준의 변압기 용량보다 0.5~3[kVA] 정도 축소되는 결과를 얻을 수 있다.

표 7. 승강기 기종별 변압기 용량
Table 7. The transformer capacity of Elevator

인승	13			15			17		
속도 [m/min]	60	90	105	60	90	105	60	90	105
현행 기준의 변압기용량[kVA]	11	15	17	12	16	17	13	17	18
연구결과의 변압기용량[kVA]	10	12	14	12	13	16	14	15	17

4.2.2 전력간선 굵기

일반적으로 인버터 승강기의 전력간선 단면적은 일반 동력부하에서 사용되는 산정방식을 이용하고 있다. 즉, 다음과 같이 전선에 흐르는 전류에 의한 전선의 허용전류에 의한 방식과 가속전류로 인한 허용전압강하에 의한 방식 중에서 큰 굵기의 전선을 택한다.

(1) 허용전류에 의한 방식

전선에 흐르는 전류를 전선이 견딜 수 있는가를 고려한 것으로 허용전류 I_t 는

$$\begin{aligned} (I_{fu} + I_c) \cdot N \cdot Y > 50[A] \text{일 때} \\ I_t > 1.1 \times (I_{fu} + I_c) \cdot N \cdot Y \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (I_{fu} + I_c) \cdot N \cdot Y \leq 50[A] \text{일 때} \\ I_t > 1.25 \times (I_{fu} + I_c) \cdot N \cdot Y \quad (4) \end{aligned}$$

단, I_{fu} : 전부하 상승전류, N : 승강기 대수,
 Y : 승강기 수용률, I_c : 제어전류

로 계산하여 이 전류(I_t)를 허용할 수 있는 굵기의 전선을 채택한다. 여기에서 전부하 상승전류는 승강

기의 정상운전시에 흐르는 최대전류를 말한다.

(2) 허용전압강하에 의한 방식

전선에서 최대 허용할 수 있는 전압강하를 고려하여 전력간선 단면적을 결정하는 것으로 승강기의 경우에는 전선에 흐르는 최대 전류인 가속전류(Iacc)를 허용한다. 여기서 가속전류란 승강기의 카내에 정격 부하를 적재한 상태에서 가속상승할 때 전선에 흐르는 최대전류를 말한다.

4.2.3 전물측 과전류 차단기 용량(A)

과전류 차단기 용량은 식 5와 같은 방법으로 산정한다.

과전류 차단기 용량

$$\geq 2 \times (I_{fu} \times N \times Y + I_c \times N) \quad (5)$$

이때 과전류 차단기는 「인버터용」 또는 「고주파에 의해서 오동작 하지 않는 제품」으로 지정할 필요가 있다.

4.3 배전계통 계획

만일 전원계통에 문제가 발생해서 전력공급이 정지한 경우 모든 승강기가 정지하면 그 동안은 건물 기능이 마비된다. 이와같은 사태를 방지하기 위해서는 승강기 전체가 동시에 정지하지 않도록 하는 유연성이 있는 배전계통이 필요하다.

즉, 승강기가 다수대가 설치되는 대형 건축물에서는 다양한 방법에 의한 전원확보와 아울러 승강기에 의한 노이즈 또는 고조파 등에 의해 문제가 발생되지 않도록 계획하여야 한다[6].

4.3.1 다양한 전원확보를 위한 계획

대형 건축물에서 정전사태에 대한 대책으로는 크게 2회선 수전방식, 충분한 자가발전용량 확보, 승강기군에 대한 2계통 배전 등을 들 수 있다.

즉, 수전방식은 건물의 규모나 경제성을 고려해서 결정될 사항이지만 승강기대수가 많은 대규모 건물의 경우는 2회선 수전방식 또는 스포트네트워크 수전방식이 바람직하다.

또한 자가발전전원설비용량은 비상시의 설비부하와 비상용승강기 전체를 동시에 운전할 수 있는 발

전용량을 확보하는 것이 필요하지만 일반용 승강기에 대해서도 그 용량은 작지만 동일 군관리 승강기 그룹에 대해서 1대 이상은 전력이 공급될 수 있는 용량이 바람직하다. 또한 동력전원 이외 전등(조명) 전원에 대한 공급도 병행해서 고려할 필요가 있다.

한편, 4대 이상의 군관리 승강기들에 대해서는 배전계통에 문제가 발생하였을 때 승객의 조기구출과 승강기의 정지시간을 최소화하기 위해 군관리 1그룹 당 2계통의 배전이 좋다. 특히 급행구간을 갖는 승강기에 있어서는 인접 승강기를 이용한 구출을 할 수 있도록 인접 승강기와는 다른 배전계통으로 전력이 공급되도록 하는 것이 바람직하다.

4.3.2 승강기의 노이즈에 대한 대책

인버터 승강기는 인버터의 주파수 변환과정에서 상용주파수보다 높은 주파수의 고조파가 발생한다. 고조파에는 전원전압의 왜형의 원인이 되는 저차고조파와 전파장해동의 원인이 되는 고차고조파가 있다. 인버터제어 승강기에서 발생하는 저차고조파는 발생량 자체가 매우 작은 값이기 때문에 타 설비의 영향은 크게 문제되지 않는다. 그러나 고차고조파는 타기기로의 영향이 있기 때문에 승강기 동력선과 통신기기, OA기기 등 약전기기의 전원선, 통신선은 1m 이상 분리하는 것이 바람직하다. 분리가 곤란한 경우에는 동력선의 배선을 금속배관한다.

또한 승강기 동력용전원변압기에서 약전기기의 전원을 공급받는 경우 고조파의 영향이 크게 되어 라디오 등에 잡음이 들어가는 경우가 있다.

따라서 승강기용 전원변압기와 통신기기, OA기기 등과 같은 약전기기의 전원변압기는 분리할 필요가 있다. 특히 병원 등에 있어서 전자의료기기(인공심장, 호흡기 등의 생명유지장치) 등과의 전원변압기의 공용은 반드시 피해야 한다.

5. 결론

건축물이 초고층화, 대형화 등과 같이 다양화 됨에 따라 이들 건축물의 요구 성능에 부응하기 위한 다양한 기종의 승강기가 개발되고 있다. 또한 건축물이 더욱 초고층화됨에 따라 건축물내의 수직교통수단으로서 승강기의 역할 또한 증대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 이들 승강기에 최적의 전원

공급설비용량을 산출하고 운행정지를 최소화하기 위한 전원설비 계획 방법을 제시하였다.

즉, 승강기의 정확한 전력소비특성들을 측정하고 분석하여 최적의 전원설비 용량설계에 활용될 수 있도록 설계량 기초자료를 도출한 결과 아파트에 시설되는 인버터승강기의 경우 전부하 상승전류값은 현행 기준보다 약 -3[A]~7 [A]정도 축소되었으며 기종별 변압기 용량은 현행 기준보다 약 0.5[kVA]~3[kVA]정도 작아지는 결과를 얻을 수 있었다. 한편, 정전사태에 의한 운행정지 사태를 최소화하기 위한 전원설비계획으로서 2회선 수전 및 2계통 배전 방식 등이 필요함을 제시하였다.

참 고 문 헌

- (1) 전기설비학회지, "운송설비의 현상과 동향", Vol.19, No4, p.212, 1998, 11.
- (2) 대한주택공사, "인버터승강기의 동력설비용량 산정 및 고조파 해석에 관한 연구", p.1, 1993, 12.
- (3) 대한주택공사, "공동주택 동력설비용량 최적화 기법 연구", p.34, 2000, 6.
- (4) 한국전력공사, "승강기 실태조사", p.114, 1999, 6.
- (5) 이기홍, 성세진, "아파트에서의 승강기 수용률 설정에 관한 연구", 조명·전기설비학회논문집, Vol.14, No.6, 2000.
- (6) 日本エレベーター協會, "昇降機計劃指針", p.58, 1992.
- (7) 대한전기협회, "내선규정", p.894, 2000, 9.

◇ 저자소개 ◇

이 기 홍 (李起弘)

1962년 11월 17일생. 1988년 충남대 공대 전기과 졸업(학사). 1990년 동 대학원 졸업(석사). 1999년 동대학원 박사과정 수료. 현재 대한주택공사 주택연구소 연구원.

성 세 진 (成世鎭)

1948년 7월 15일생. 1973년 서울대 공대 공업교육과 졸업(학사). 1975년 동 대학원 졸업(석사). 1988년 일본 동경공업대 대학원 졸업(박사). 현재 충남대 공대 전기공학과 교수.