

## 철도차량 모의운전연습기의 훈련비용 효율성 분석

### Analysis on Cost-effectiveness of a Train Simulator

김사길<sup>†</sup> · 변승남<sup>\*</sup>

Sa-Kil Kim · Seong-Nam Byun

**Abstract** The purpose of this paper is to analyze cost-effectiveness of a train simulator. The cost-effectiveness of training program is assessed by multiplying transfer effectiveness ratio (TER) by training cost ratio (TCR). If their product is less than one, the program is not cost effective. Even if a program is not cost effective, however, safety considerations may be important to consider. Findings indicated that each type of train simulators might be used with each type of training programs appropriately for improving cost-effectiveness of a train simulator.

**Keywords** : Cost-effectiveness, Transfer effectiveness, Training cost

**요 지** 이 논문은 국내 철도 모의운전연습기의 훈련비용 효율성(TCE; training cost-effectiveness)을 분석하는데 그 목적이 있다. 교육훈련 비용 효율성이란 해당 모의운전연습기를 통해 얻어진 학습 효율성(TER)과 그에 따르는 비용 효율성(TCR)을 모두 고려한 비율이다. TCE가 1보다 작으면 분석하고자 하는 훈련체계나 새롭게 적용하는 훈련 도구의 비용 효율성이 없는 것이고, 1보다 크면 비용 효율성이 있는 것이다. 그러나 훈련체계나 훈련 도구가 비용 효율성이 없다 하더라도 안전과 관련된 사항은 반드시 비용에 관계없이 고려되어야 한다. 본 연구는 국내 철도 모의운전연습기의 훈련비용 효율성을 분석하였으며, 훈련의 종류와 훈련 내용에 따라 적절한 종류의 모의운전연습기를 활용하는 것이 비용 효율성이 있는 것으로 분석되었다.

**주 요 어** : 비용 효율성, 학습효과, 교육훈련 비용

## 1. 서 론

국내 철도 운전업무종사자의 자질향상과 우수한 인력수급을 위해 철도운전면허제도가 2006년 7월에 시행되었다. 이에 따라 국가 지정 전문교육기관에서는 면허시험을 위한 교육훈련을 일반응시자 뿐만 아니라 철도 유경험자에 대해서도 실시하고 있다.

철도안전법시행규칙(건설교통부령 제522호) 제20조 2항에 따라 교육훈련은 이론교육과 기능교육으로 구분되며 기능교육은 실제차량이나 모의운전연습기를 활용할 수 있도록 규정하고 있다. 기능교육은 운전상황에 따라 정상(normal) 운전, 고장(malfunctioned) 운전, 그리고 비상(emergent) 운전으로

구분된다. 정상운전교육이란 철도차량을 운행하여 승객이나 화물을 운반하는 철도산업 본연의 업무를 수행하기 위해 필요한 기본적인 운전기술을 습득하는 교육이다. 고장시 운전 교육이란 철도차량의 일부 기능적 결함이나 기타 철도 시설의 기능적 결함으로 인해 발생할 수 있는 고장 상황에 대처하는 방법 및 절차를 습득하는 훈련이다. 마지막으로 비상시 운전교육이란 화재, 탈선, 그리고 충돌 등의 비상사고 상황이나 천재지변 등으로 인한 긴급한 상황 등에 대처하는 방법 및 절차 등을 습득하는 훈련이다.

철도안전법시행규칙은 기능교육에 대한 구분을 명확히 규정하고 있지는 않지만, 동 규칙 제20조 3항을 통해 '현장실습교육', '운전실무 및 모의운행훈련', 그리고 '비상시 조치 등'으로 구분하고 있다. 이상의 세 가지 기능교육은 운전면허 취득을 위한 응시자의 구분에 따라 일반응시자, 운전면허 소지자, 철도차량운전 경력자, 그리고 철도관련업무 종사자로 구분하여 차등적인 교육시간을 요구하고 있다. 현장실습

<sup>†</sup> 책임저자 : 정회원, 경희대학교, 산업공학과 인간공학 박사수료

<sup>\*</sup> 교신저자 : 경희대학교 산업공학과 정교수

E-mail : snbyun@khu.ac.kr

TEL : (031)201-2581 FAX : (031)203-4004

교육은 실제 차량에 탑승하여 시운행 혹은 견학할 수 있는 실정이다. 왜냐하면, 실제 차량을 이용하여 정상운전교육을 하는데 소요되는 비용이 과다하고 고장이나 비상시 운전교육은 현실적으로 불가능하기 이다. 따라서 대부분의 정상운전교육은 CBT(computer based trainer)나 PDS(partial drive simulator, 기본기능모의운전연습기)을 활용하여 실시하고 있다. 또한 고장시 운전교육은 PDS를 활용하고 비상시 운전교육은 FDS(full drive simulator, 전기기능모의운전연습기)를 활용하고 있다.

일반적으로 운전교육의 효율성(effectiveness) 측면에서 모든 기능교육은 실제차량, FDS, PDS, 그리고 CBT 순으로 효율성이 높게 나타날 것이라고 기대하고 있다. 그러나 교육훈련 장비 비용을 포함한 교육훈련 비용 때문에 현실적으로 수용 가능한 비용 범위 내에서 교육용 장비를 활용하고 있는 실정이다. 따라서 효율적인 교육용 장비의 활용방안을 모색하여 비용대비 교육의 효율성을 극대화할 필요가 있다.

본 연구는 운전상황에 따라 모의운전연습기의 교육훈련 비용 효율성(TCE; training cost-effectiveness)을 분석하여 국내 실정에 맞는 모의운전연습기의 도입 방안을 제안하고자 한다. 교육훈련 비용 효율성이란 해당 모의운전연습기를 통해 얻어진 학습 효율성(TER; transfer effectiveness ratio)과 그에 따르는 비용 효율성(TCR; training cost ratio)을 모두 고려한 비율이다. 또한 본 연구를 통해 정상, 고장, 그리고 비상 상황에 맞는 모의운전연습기의 성능기준 및 수량 등을 추정하고자 하며, 교육훈련에 관한 제도화 방안을 모색하고자 한다.

## 2. 교육훈련 비용 효율성

교육훈련체계나 장비를 개발하는 데 있어 일반적으로 다음 세 가지 사항을 고려한다.

첫째, 교육훈련체계나 장비는 최소의 시간에 최적의 교육효과를 나타낼 수 있는가? 둘째, 그 교육효과는 최대한 오랫동안 지속되는가? 셋째, 저렴한가? 이상의 세 가지 고려사항을 한 마디로 정리하면 교육훈련의 효율성(training efficiency)이다(Wickens, C.D. & Hollands, J.G., 2000).

교육훈련의 효율성을 증가시키기 위해 교육훈련을 통해 얻어진 기술이 실제환경에서 얼마나 정확하게 적용될 것인가를 고민하게 되었으며(Holding, 1987; Singley & Addersen, 1989), 이를 교육의 전이(transfer of training)이라 한다. Fabiani 외(1989)는 이러한 교육의 전이를 측정하여 교육훈련 전략 개발에 활용하였다.

일반적으로 교육의 전이율(% transfer)은 다음 식(1)에 의해 계산된다.

$$\text{전이율} = \frac{T_c - T_t}{T_c} \times 100 \quad (1)$$

식(1)에서  $T_c$ 는 현재(기존) 교육체계나 장비를 활용한 교육을 통해 해당 직무를 수행하는 데 소요되는 시간을 의미하며,  $T_t$ 는 새롭게 제안된 교육체계나 장비를 활용한 교육을 통해 해당 직무를 수행하는 데 소요되는 시간을 의미한다. 본 연구에서는 철도차량 운전면허를 취득하기 위한 일반응시자가 전기기능모의운전연습기(FDS)를 활용하여 교육훈련을 받을 경우, 해당 장비의 훈련비용 효율성을 측정하고 있다. 따라서 ‘현재(기존) 교육체계나 장비를 통한 교육훈련’이란 현재 주로 활용하고 있는 PDS를 활용한 교육훈련이고 ‘새롭게 제안된 교육체계나 장비를 통한 교육훈련’은 FDS나 실차를 활용한 교육훈련을 의미한다.

학습 효율성(TER)은 다음 식(2)에 의해 계산된다.

$$TER = \frac{T_c - T_t}{T} \quad (2)$$

식(2)에서  $T$ 는 새롭게 제안된 교육훈련체계나 장비를 통해 교육훈련을 실시한 시간을 의미한다.

비용 효율성(TCR)은 다음 식(3)에 의해 계산된다.

$$TCR = \frac{C_o}{C_n} \quad (3)$$

식(3)에서  $C_o$ 는 현재(기존) 교육체계나 장비를 통해 교육훈련 시키는데 소요되는 단위시간당 비용을 의미하며,  $C_n$ 는 새롭게 제안된 교육체계나 장비를 통해 교육훈련 시키는데 소요되는 단위시간당 비용을 의미한다.

마지막으로 교육훈련 비용 효율성(TCE)은 다음 식(4)와 같다.

$$TCE = TER \times TCR \quad (4)$$

식(4)에서  $TCE > 1$  이면, 새롭게 제안된 교육체계나 장비가 비용대비 교육의 효율성이 있다고 할 수 있으며,  $TCE < 1$  이면, 비용대비 교육의 효율성이 없다. 그러나 교육훈련을 통해 안전성을 보장해야 하는 중대한 교육인 경우, 비용 효율성 보다는 안전을 우선시 하여야 할 것이다(Wickens, C.D. & Hollands, J.G., 2000).

## 3. 국내 철도 교육훈련체계의 교육훈련 비용 효율성 분석

본 연구에서는 국내 철도안전법(법률 제7796호) 제10조의 철도차량운전면허를 취득하기 위해 필요한 교육훈련(동법 제

16조)의 비용 효율성 분석을 실시하였다. 철도안전법에서 규정하고 있는 운전업무종사자(소위 기관사)의 교육훈련은 전술한 바와 같이 이론교육과 기능교육으로 구분되며, 기능교육은 일반응시자, 운전면허소지자, 철도차량운전 경력자, 그리고 철도관련업무 종사자로 구분하여 지정된 교육내용을 규정된 시간 이상 실시하도록 규정되어 있다. 본 연구에서는 철도산업 관련 경력이 없는 일반응시자로 제2종 전기차량에 대한 교육훈련을 대상으로 비용 효율성 분석을 실시하였다. 일반응시자의 경우, 개개인의 철도관련 경력으로 인해 훈련효과(training effects)가 오염될 우려가 없으며, 교육훈련에 대한 개개인의 수행도(performance)에 대한 편차(variation)가 적기 때문이다.

### 3.1 전제조건

본 연구의 비용 효율성 분석을 위해 필요한 전제조건(assumptions)은 다음과 같다.

첫째, 피교육자가 국내 철도안전법에서 규정하고 있는 기능교육 교과목별 교육시간을 이수할 경우, 모두 동일한 수행도를 나타낸다. 비용 효율성 분석은 단위시간과 단위 피교육자를 대상으로 분석하므로 피교육자 간의 동질성(homogeneity)을 전제하여야 한다. 둘째, 교육용 장비의 현실 부합성(fidelity)이 다르더라도 피교육자의 교육효과는 동일하다. 예를 들어, 전기차량의 브레이크 고장 조치에 대한 교육을 PDS(기본기능모의운전연습기)나 FDS(전기기능모의운전연습기)를 통해 실시할 수 있다면, 이 두 장비의 현실 부합성은 다르지만 피교육자의 교육효과는 동일하다고 가정한다. 실제로 현실 부합성은 FDS가 PDS 보다 높지만 교육효과도 높다고 할 수 없기 때문이다. 물론, 비상시 운전교육과 같이 FDS 만으로 가능한 훈련교육의 경우, FDS와 PDS의 교육효과를 비교할 수는 없다. 셋째, 교육용 모의운전연습기 및 실차의 내구 연수는 10년으로 가정하고(전기동차의 내구 연수는 철도안전법 시행규칙의 규정에 의해 25년이나 장비간 비교의 편의를 위해 10년으로 가정) 유지관리(maintenance) 규정을 준수하여 장비의 비상고장으로 인한 비용은 추가로 발생하지 않는다. 대부분의 컴퓨터 장비의 내구 연수는 10년이며, 매년 고정비용의 약 10% 정도가 변동비용으로 발생한다.

### 3.2 교육훈련 소요시간

운전업무종사자의 면허시험을 위해 필요한 교육훈련은 전술한 바와 같이 정상운전, 고장시 운전, 그리고 비상시 운전 교육으로 구분된다. 그리고 교육에 필요한 장비는 본 연구를 통해 분석하고자 하는 PDS, FDS, 그리고 실제 전기차량이다. 교육훈련 소요시간은 제2종 전기차량 운전면허의 기능교육훈

련 규정(철도안전법 시행규칙 제20조 제3항) 교육이수 시간을 기준으로 산정하였다. 정상운전은 '운전실무 및 모의운행 훈련(200 시간)'을 기준으로 산정하였고, 고장과 비상운전은 '비상시 조치 등(60 시간)'을 기준으로 30 시간씩 산정하였다. 규정된 교육시간을 모두 이수한 경우, 어떠한 장비로 교육훈련을 받았다 할지라도 교육효과는 개개인 별로 동일한 것으로 가정하였다. 고장이나 비상운전 교육은 FDS를 기준으로 PDS나 실차를 활용할 경우 추가 시간을 상수(a, b, c)로 정하였다. 또한 현실적으로 해당 장비를 이용하여 해당 교육이 불가능한 경우는 비교분석을 위해 매우 큰 수(1,000)를 입력하였다. 일반응시자 대상 교육훈련 소요시간은 Table 1과 같다.

### 3.3 교육훈련 비용

교육훈련 비용은 크게 장비비용과 운영비용으로 구분되며, 장비간의 비용 효율성을 비교하기 위한 목적으로 기준비용을 사용하였다. 실제 비용의 경우, 변동성이 높고 학문적 목적 이외의 성격으로 왜곡될 가능성이 있기 때문이다. 먼저 장비비용은 Table 2와 같으며, 연간 유지비용은 초기 구입비의 10%로 산정하였다.

교육훈련 운영비용은 해당 장비를 이용하여 교육훈련을 실시하는데 필요한 비용으로 시간당 인건비(M/H)를 사용하였다. 또한 실차 교육 시 철도(railroad)가 필요하므로 시간당 임대비(T)를 사용하였다. 운영비용은 Table 3과 같다.

Table 1. Training time per person

	정상	고장	비상
PDS	200	30+a	1,000
FDS	200	30	30
실차	200	30+b	30+c

\* a, b, c > 0, a < b < c

Table 2. Equipment cost

	초기 구입 비용	내구 연수	연간 유지 비용
PDS	C	10	C/10
FDS	5C	10	5C/10
실차	50C	10	50C/10

\* C: PDS 한 대의 장비를 구입하는 비용

Table 3. Administration cost for training

	M/H	Track
PDS	1M	0
FDS	2M	0
실차	4M	1T

### 3.4 분석 결과

훈련비용 효율성 분석을 운전상황별로 수행하였다. 먼저 정상운전교육에 대한 분석은 다음 Table 4와 같다.

Table 4와 같이 정상운전교육의 경우는 PDS를 대신해서 FDS를 활용할 경우  $TCE=0<1$ 이므로 비용대비 교육의 효율성이 매우 떨어짐을 알 수 있다. 실차의 경우 역시  $TCE=0<1$ 이므로 비용대비 교육의 효율성이 매우 떨어진다. 따라서 정상운전교육은 PDS를 활용하는 것이 가장 비용 효율성이 좋다.

다음으로 고장시 운전교육에 대한 분석은 Table 5와 같다.

Table 5와 같이 고장시 운전교육에 있어 PDS를 대신해서 FDS를 활용할 경우,  $a=30$ 이라 하더라도  $TCE=a(0.2C+M)/30(C+2M)<1$ 이므로 비용대비 교육의 효율성이 떨어짐을 알 수 있다. 그러나 현실적으로 상수 'a'가 30가 넘어 PDS를 활용하는 교육시간이 FDS를 활용하는 경우보다 두 배 이상 소요될 수 없다. 그러므로 고장시 운전교육은 FDS보다는 PDS를 활용하는 것이 비용 효율성이 높다. 또한 PDS를 대신해서 실차를 활용하는 경우는  $a(0.2C+M)/30(C+2M) > (a-b)(0.2C+M)/(10C+4M+T)(30+b)$  이므로 더더욱 실차보다 PDS를 활용하는 편이 비용 효율성이 높다.

마지막으로 비상시 운전교육에 대한 분석은 Table 6과 같다.

Table 6과 같이 비상시 운전교육에 있어 PDS를 대신해서 FDS를 활용할 경우, 기준비용 'C'와 'M'을 모두 1이라고 가정하면,  $TCE=12.93>1$  이므로 PDS보다 FDS를 활용하는 것

이 비용 효율성이 매우 높음을 알 수 있다. 물론, PDS를 활용하여 비상운전이 불가능함을 가정한 결과이다. 한편 PDS를 대신해서 실차를 활용하는 경우를 살펴보았다. 기준비용 'C', 'M', 그리고 'T'을 모두 1로 가정하고  $c=0$ 으로 가정하면 FDS의  $TEC=12.93$ 이고 실차의  $TCE=2.58$  이므로 FDS를 활용하는 교육이 실차를 활용하는 교육보다 비용 효율성이 높다고 할 수 있다. 결론적으로 비상시 운전교육은  $FDS>실차>PDS$  순으로 비용 효율성이 높다고 할 수 있다.

### 4. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 운전상황에 따라 모의운전연습기의 교육훈련 비용 효율성(TCE; training cost-effectiveness)을 실차와 비교분석하였다. 정상과 고장시 운전교육은 PDS가 비용 효율성이 높게 나타났고 비상시 운전교육은 FDS가 비용 효율성이 높게 나타났다. 따라서 운전업무종사자의 면허시험을 위한 교육훈련에 있어 기능교육은 실제 차량보다는 PDS나 FDS를 활용하는 것이 합리적이다. 또한 교육해야 할 운전상황에 따라 적합한 모의운전연습기를 활용하도록 관련 철도 안전법(건설교통부령 제530호) 시행규칙(제20조, 21조 등)을 재고하여야 하며, 교육대상자의 수요와 교육기관의 역량을 고려하여 적정 수의 모의운전연습기를 확보하여야 할 것이다.

Table 4. Cost-effectiveness on normal operations

	TER	TCR	TCE
PDS	0	1	0
FDS	0	$(0.2C+M)/(C+2M)$	0
실차	0	$(0.2C+M)/(10C+4M+T)$	0

\* TER; transfer effectiveness ratio TCR; training cost ratio TCE; training cost-effectiveness

Table 5. Cost-effectiveness on malfunctioned operations

	TER	TCR	TCE
PDS	0	1	0
FDS	$a/30$	$(0.2C+M)/(C+2M)$	$a(0.2C+M)/30(C+2M)$
실차	$(a-b)/(30+b)$	$(0.2C+M)/(10C+4M+T)$	$(a-b)(0.2C+M)/(10C+4M+T)(30+b)$

\* a, b, c, M, T > 0, a < b < c

Table 6. Cost-effectiveness on emergent operations

	TER	TCR	TCE
PDS	0	1	0
FDS	32.33	$(0.2C+M)/(C+2M)$	$32.33(0.2C+M)/(C+2M)$
실차	$(970-c)/(30+c)$	$(0.2C+M)/(10C+4M+T)$	$(970-c)(0.2C+M)/(10C+4M+T)(30+c)$

\* a, b, c, M, T > 0, a < b < c

그러나 본 연구의 결과는 다음과 같은 한계를 가지고 있으며, 추후 연구를 통해 보완되어야 할 것이다. 첫째, 교육상황 및 장비별 교육훈련을 통한 교육의 전이율을 측정하여 학습 효율성(TER)을 정확하게 산정하여야 한다. 본 연구에서는 TER를 단순히 교육시간으로 한정하여 철도안전법에서 규정한 교육시간을 이수하였을 경우, 동일한 교육효과를 나타낸다는 가정을 두었기 때문이다. 둘째, 교육상황별로 서로 다른 장비를 활용할 경우 교육의 목표를 달성하는데 소요되는 시간을 측정하여 상수 'a', 'b', 그리고 'c'를 통계적으로 추정하여야 한다. 마지막으로, 교육훈련 비용을 기준비용이 아닌 실제비용으로 산정하여 보다 직접적인 결과를 도출하여야 한다. 실제 교육훈련 비용은 교육자의 인건비, 교육설비비, 그리고 교육용 소모품비 등으로 세분화하여야 하며, 이때 교육 수수료를 감안한 순비용을 산출하여야 한다. 또한 본 연구에서는 기능교육 중 모의운전연습기를 사용하는 교육으로 한정하고 있으므로 이론교육이나 모의운전연습기를 활용하지 않는 기능교육에 소요되는 교육훈련 비용은 순비용에서 제외되어야 한다.

이상의 연구한계는 학술연구의 한계와 직결되며, 대책과제의 일환으로 국내 철도산업의 모든 교육훈련에 대한 체계적인 교육매체의 검토가 필요하다고 판단된다. 본 논문에서 소개한 훈련비용 효율성 분석방법이 체계적인 교육매체의 검토를 위한 기초 방법론으로 활용되기를 기대하며, 결론을 대신하고자 한다.

## 후 기

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술연구개발사업의 일환으로 수행됨.

## 참 고 문 헌

1. Arkes, H., & Freedman, M.R. (1984), A demonstration of the costs and benefits of expertise in recognition memory, *Memory & Cognition*, vol.12, p.84-89.
2. Drunckman, D., & Bjork, R.A. (1994), Transfer: Training for performance. In *Learning, remembering, believing*(p.25-56), Washington, DC: National Academy Press.
3. Fabiani, M., Buckley, J., Gratton, G., Goles, M.G., Donchin, E., & Logie, R. (1989), The training of complex task performance. *Acta Psychologica*, vol.71, p.259-299.
4. Frederiksen, J.R., & White, B.Y. (1989), An approach to training based upon principled task decomposition. *Acta Psychologica*, vol.71, p.89-146.
5. Holding, D.H. (1987), In G. Salvendy (Ed), *Handbook of human factors*, New York: Wiley.
6. Singley, J.B., & Walker, N. (1993), Transfer of knowledge across computer command menus, *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol.5, p.147-165.
7. Wickens, C.D. & Hollands, J.G. (2000), *Engineering Psychology and Human Performance*(3th), Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey., p.241-292.

(2007년 11월 13일 논문접수, 2007년 12월 14일 심사완료)