

# 발전 기술의 차이가 원자력 발전소 운전의 학습효과에 미치는 효과 분석

이 만 기 \*

〈 目 次 〉

- |                               |            |
|-------------------------------|------------|
| I. 서론                         | III. 분석 모형 |
| II. 원자력 발전소 운전에 있어서의<br>학습 효과 | IV. 추정 결과  |
|                               | V. 결론      |

## 요 약

본 연구는 발전 기술이 다양한 우리나라 원자력 발전소들 사이의 운전 경험에 대한 정보가 원자력 발전소의 운전 성과에 미치는 효과를 실증적으로 분석하는 것을 목적으로 하였다. 기존의 원자력 발전의 학습 효과 분석은 주로 단일 발전소를 대상으로 수행되었다. 그러나 어떤 발전소의 운전 경험이 운전 성과에 미치는 효과는 그 발전소에만 국한되는 것이 아니고 다른 발전소에도 영향을 줄 수 있으므로 발전소들 사이의 운전 경험에 대한 정보의 공유에 대한 분석이 요구된다. 그런데 모든

\* 한국원자력연구소 경제분석실 선임연구원

발전소의 운전 경험이 동일한 가치를 가지고 있다고 볼 수는 없다. 동일 부지와 동질적 발전 기술을 가진 발전소들 사이에는 운전 경험의 운전학습효과가 클 것이지만 다른 부지와 이질적 발전 기술의 발전소들 사이에는 운전 경험에 관한 정보의 공유 비용이 높을 것으로 기대된다. 본 연구의 실증 분석 결과, 동질적 기술을 가지고 있는 발전소들 사이의 운전 정보의 공유가 대체적으로 더 활발한 것으로 분석되었으며 동일 부지에 있는 발전소들의 운전 경험이 운전 성과 향상에 미치는 효과가 큼을 알 수 있다. 이러한 실증 분석 결과는 예상과 일치하는 것으로 기존의 다양한 원자력 발전 기술의 도입이 발전소의 운전 성과 측면에서는 비효율적이었음을 지적하는 것이다.

## I. 서 론

우리나라의 원자력발전은 1978년에 상업 가동한 고리1호기의 도입으로 시작되었으며 그 후 지속적인 도입을 추진한 결과 1994년 현재 총 9기가 운전 중에 있고 원자력발전 설비용량은 7,616MWe로서 총 발전 설비에서 차지하는 비중은 28%이다.<sup>1)</sup> 우리나라에서 운전되고 있는 원자력 발전소의 노형을 살펴보면 가압경수로(Pressurized Water Reactor) 형이 8기로 주종을 이루고 있고 나머지 1기는 중수로(Pressurized Heavy Water Reactor) 형이다. 원자력 발전소의 공급측면은 핵증기공급계통, 보조기기, 그 외의 건설 부문으로 구성된다. 이 중 주요 부문인 핵증기공급계통(Nuclear Steam Supply System)의 설계는 Westinghouse, Framatome, AECL의 3개사가 다양하게 공급하였다. 각사가 공급한 기수를 살펴보면 Westinghouse가 6기, Framatome이 2기, 나머지 1기는 AECL이 공급하였다.<sup>2)</sup>

1) 총발전량에서 원자력이 차지하는 비율은 1994년 현재 36%이다.

2) 핵증기공급계통은 원자력 발전소의 가장 핵심적인 기술이므로 원자력 발전의 기술 종류를 대표한다고 보아도 무방하다.

원자력 발전소 운전의 학습 효과에 대한 분석은 주로 단일 발전소를 대상으로 이루어져 왔다. 단일 대상 발전소의 운전에서 획득한 경험이 그 발전소의 운전 성과에 미치는 효과의 추정이 이 분야의 주된 관심사이고 대표적인 연구 문헌으로는 Komanoff(1976), Joskow and Rozanski(1979), Easterling(1982), 그리고 Krautmann and Solow(1988)를 들 수 있다. 이들 문헌들은 학습 곡선을 추정함으로써 단일 발전소의 운전 경험이 그 발전소의 운전 성과에 미치는 효과를 파악하는데 중점을 두고 있다. 이 분야에 있어서 우리나라 연구의 주된 관심은 원전 표준화 효과에 관한 것이었으며 이러한 연구에 영향을 준 대표적 문헌으로는 AIF(1986)이 있다.<sup>3)</sup>

그러나 어떤 발전소의 운전 경험이 미치는 효과는 그 발전소의 운전 성과에만 국한되는 것이 아니고 다른 발전소의 운전 성과에도 영향을 줄 수 있는 것이 현실이다. 이러한 다수 발전소 사이의 운전 경험의 공유에 대한 대표적 연구 문헌으로는 Lester and McCabe(1993)이 있다.

우리나라의 원자력 발전소는 이상에서 살펴본 바와 같이, 원자로 형태와 핵증기 공급계통의 공급자별로 다양하며 동일 부지에 다수 기를 건설하는 입지 방법을 적용하고 있다. 본 연구의 목적은 다양한 발전 기술이 존재하는 우리나라 원자력 발전소들 사이의 운전 경험에 대한 정보가 원자력 발전소의 운전 성과에 미치는 효과를 실증적으로 분석하는 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 다음 II절에서는 원자력 발전소 운전의 학습 효과에 대하여 설명하고 III절에서는 본 연구의 분석에 이용될 추정 모형을 설정하며 아울러 추정 방법을 소개한다. IV절에서는 추정 결과를, 마지막 V절에서는 결론을 제시한다.

---

3) 우리나라의 원전 표준화 효과에 관한 연구로는 한국전력공사, 『원자력발전소 표준화 설계를 위한 조사용역』, 1987. 8. 이 있다.

## II. 원자력 발전소 운전에 있어서의 학습 효과

본 연구에서는 발전소의 운전 성과를 나타내는 변수로 이용률을 이용하였다. 이용률은 일년 단위로 산정 되는데 일년 동안 어떤 발전 설비가 생산한 실제 발전량을 이 발전 설비가 일년 동안 최대로 발전할 수 있는 총 발전량(설계 발전 용량)으로 나눈 값이다.<sup>4)</sup>

이용률은 발전 설비의 운전 성과를 나타내는 변수로서 이는 발전 설비의 설계, 건설, 운전, 보수 등이 얼마나 잘 수행되었는 지에 대한 종합적인 지표인 것이다. 원자로 공급자와 발전소 운전자는 발전 설비의 이용률을 극대화하고자 한다는 것이 일반적인 가정이다. 그러나 발전 설비도 시간이 경과됨에 따라 노후화 되며 노후화된 설비를 계속 이용하는 것은 보수비 증가의 요인이 되기도 하여 경제적으로 바람직하지 않다고 판단된다. 따라서 노후화된 발전 설비를 계속 이용한다는 것은 비용의 증가를 의미하며 이러한 비용 증가를 감수하면서 노후화된 발전 설비를 가동해야 하는지에 대한 의사 결정을 수행해야 한다. 이 경우 노후화된 발전 설비의 이용에 따른 비용과 다른 발전 설비를 이용하는 데에 수반되는 비용을 서로 견주어 보아야 한다. 그러므로 원자력 발전 설비의 경제적 이용률은 보다 더 낮은 값을 가질 가능성도 있다. 노후화된 발전 설비의 운전에 이러한 운전 방법이 이미 도입되어 있다고 판단하고 본 연구에서는 이러한 가능성을 설명할 수 있도록 모형을 설계하였다.

원자력 발전 설비의 운전에 있어서의 학습 효과는 발전소 운전 초기에 발생하기 쉬운 기술적 결함이 운전을 계속함으로써 교정되는 과정에서 실현되는 운전 성과의 향상을 의미한다. 여기서 기술적 결함이란 부품 결함, 소프트웨어의 잘못, 장비 설치의 결함 등으로 구성된다. 또한 운전 시간의 경과와 더불어 운전 보수 요원이 발전 설비의 조작에 익숙해짐에 따라 운전원의 조작 실수가 감소됨으로써 학습 효과가 향상되기도 한다.

4) 연간 이용률(%) =  $\frac{\text{연간 실제 발전량}(MWh)}{\text{설계 발전 용량}(MW) \times 8760(\text{시간/년})}$

### 발전 기술의 차이가 원자력 발전소 운전의 학습효과에 미치는 효과 분석

어떤 발전소의 운전에서 실현된 학습은 다른 발전소의 운전에도 적용될 수 있다. 특히 발전 설비의 설계와 운전 절차가 비슷한 발전소들 사이에는 이러한 학습 효과가 적용될 가능성이 매우 높다. 기술적 특성이 비슷한 발전소들 사이에서의 정보 교환의 가치가 큰 반면 기술적으로 상이한 발전소들 사이에서의 정보 교환은 비용이 많이 발생할 것으로 예상된다. 또한 한 발전소에서 실현된 학습 효과가 다른 발전소의 운전 성과에 영향을 미치는 정도는 발전소가 서로 동일 부지에 위치하고 있는지의 여부에 따라서도 좌우될 것으로 기대된다. 이는 다른 부지에 위치하고 있는 발전소들 사이의 정보 공유 비용은 큰 반면 동일 부지에 위치한 발전소들 사이의 정보 공유는 훨씬 더 쉬울 것으로 예상되기 때문이다.

## III. 분석 모형

### 1. 모형의 설정

본 연구에서 설정한 모형은 Lester and McCabe (1993)의 모형을 근거로 하였으며 구체적인 추정 모형은 다음 (1) 식과 같다. 이 식은 multiplicative 형태를 취하고 있으며 운전 성과는 각종 변수들의 분리 가능한 함수라고 가정하고 있다. I장에서 언급한 운전 성과에 대한 연구들에서도 이러한 함수 형태를 가정하고 있다.

$$\begin{aligned} \ln AV_{it} = & \Lambda + \beta_1 AGE_{it} + \beta_2 AGE_{it}^2 + \beta_3 PRESITE_i \\ & + \beta_4 TRASITE1_{it} + \beta_5 TRASITE2_{it} + \beta_6 PREFIRM_i \\ & + \beta_7 TRAFIRM1_{it} + \beta_8 TRAFIRM2_{it} + \beta_9 DUMPHWR + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (i=1, \dots, 9) \quad (t=1978, \dots, 1994). \quad (1)$$

여기서  $AV_{it}$ 는  $i$ 원자력 발전소의  $t$ 년도에서의 이용률을 나타낸다. 여기서의 이용

률은 실적 이용률에서 정기적인 보수의 성격을 띤 계획 예방 정비에 소요되는 기간으로 인해 발생하는 이용률 손실 분을 빼 준 것이다.<sup>5)</sup> 이는 실적 이용률 자료를 그대로 사용할 경우 계획 예방 정비가 시행되지 않은 해의 이용률은 상대적으로 더 높게 나타남으로써 학습 효과가 과대하게 평가될 가능성을 가지고 있기 때문이다. 추정 모형 식인 (1)식의 독립변수에는 전체 전력 시스템에 영향을 주는 변수들인 경기변동이나 산업용 전력수요의 변동 등을 고려하지 않았으며 또한 수력 및 화력 발전소와 같은 다른 발전원들의 이용률 변화를 반영하는 변수도 포함하지 않았다. 이는 원자력 발전은 수력을 제외한 다른 발전원에 비해 연료비가 매우 저렴하기 때문에 다른 발전원보다 우선 전력 시스템에 투입되는 것이 전력 시스템의 경제적 운용과 일치하기 때문이다.<sup>6)</sup> 이런 이유로 인해 원자력 발전은 기저 부하(base load)를 담당하면서 가능한 최고의 이용률로 운전하도록 항상 요구되고 있다.

$AGE_{it}$ 는  $i$ 원자료가 상업 가동을 시작한 이후의 경과 시간을 나타내는 것으로써 년 단위로 측정된다. 이 변수는 발전 설비의 운전 경험을 나타내기 위하여 도입되었다. 그러나 이 변수는 발전 설비의 노후화 효과도 동시에 반영하고 있으므로 궁극적인 이용률의 증감은 학습 효과와 노후화 효과의 크기에 좌우될 것이다. 운전 시간이 경과됨에 따라 학습 효과가 노후화 효과보다 더 크면 이용률은 증가할 것이지만 노후화 효과가 학습 효과보다 크면 이용률은 감소할 것이다. 시간의 경과와 함께 이 두 효과가 서로 작용하는 것을 고려하기 위해 본 모형에서는  $AGE$ 변수에 대한 2차항을 포함시켰다.

(1)식에 있는 다음 6개의 변수는 발전소들 사이의 정보 교환에 의한 학습 효과를 반영하기 위해서 도입된 것이다. 이들 각 변수는 이들이 의미하는 해당 기간의 원자로 운전 연수를 합하여 생성되도록 하였다. 따라서 동일한 변수에 있어서 1년간

5) 발전 정지는 불시 정지 이외에도 계획 예방 정비, 간이 예방 정비 등에 의해 발생한다. 1978년부터 1994년까지 총 발전 정지 횟수는 396건으로 이 중에는 계획 예방 정비 76건, 간이 예방 정비 42건이 포함되어 있다.

6) 우리나라의 경우 수력발전이 차지하는 비율은 1994년 현재 2.5%에 불과하므로 수력의 이용률 변화가 원자력 발전의 이용률에 영향을 줄 수 없다.

의 운전 연수가 학습 효과 측면에서 지니는 가치는 원자로와 시간에 관계없이 일정하다는 것을 암묵적으로 가정하고 있는 것이다.

PRESITE<sub>i</sub>는 *i*발전소의 최초 상업 운전 이전에 동일 부지에서 가동된 발전소들의 *i*발전소 상업 가동 시점에서의 총 운전 연수를 나타낸다. TRASITE1<sub>it</sub>과 TRASITE2<sub>it</sub>는 *i*발전소의 최초 상업 운전 이후에 동일 부지에서 실현된 다른 발전소들의 운전 경험이 *i*발전소의 운전 성과에 미치는 효과를 분석하기 위하여 도입된 것이다. TRASITE1<sub>it</sub>은 오래된 발전소들<sup>7)</sup>의 *i*발전소 최초 상업 운전 시점 이후부터 *t* 시점까지의 총 운전 연수를 나타낸다. TRASITE2<sub>it</sub>는 새로운 발전소로서, *i*발전소의 최초 상업 운전 이후에 새로 도입된 동일 부지 원자로들의 *t*년도 시점에서의 총 운전 연수를 나타낸다.<sup>8)</sup>

다음의 3개의 변수들은 *i*발전소와 다른 부지에 있는 발전소들의 운전 경험이 *i*발전소의 운전 성과에 미치는 효과를 분석하기 위해 도입된 것이다. PREFIRM<sub>i</sub>는 *i*발전소의 최초 상업 운전 이전에 다른 부지에서 가동하고 있던 발전소들의 *i*발전소 상업 운전 시점에서의 총 운전 연수를 나타낸다. TRAFIRM1<sub>it</sub>는 다른 부지에 위치한 오래된 발전소들의 *i*발전소 최초 상업 운전 시점 이후부터 *t*시점까지의 총 운전 연수를 나타내며, TRAFIRM2<sub>it</sub>는 *i*발전소의 최초 상업 운전 이후에 다른 부지에 새로 도입된 원자로들의 *t*년도 시점에서의 총 운전 연수를 나타낸다.

DUMPHWR은 더미 변수로써 가압경수로형과 가압중수로형의 이용률 차이를 설명하기 위하여 도입하였다. 가압중수로형의 이용률이 가압경수로형의 이용률보다 더 높은 것이 일반적이며 우리나라의 경우도 과거 실적 자료에서 이러한 추세를 확인할 수 있다. 가압경수로형의 발전소에는 0을, 가압중수로형의 발전소에는 1의 수치를 부여하여 DUMPHWR변수의 자료를 생성하였다.

이상의 변수에 대한 설명을 <표 1>에 요약하였다.

- 
- 7) 오래된 발전소란 *i* 발전소가 최초의 상업 가동에 들어가기 이전에 *i*발전소와 동일 부지에서 이미 가동되고 있던 발전소들을 의미한다.  
8) 새로운 발전소란 *i*발전소가 최초로 상업 가동을 시작한 이후에 동일 부지에 도입된 발전소들을 의미한다.

이 만 기

<표 1> 변수에 대한 설명

AV <sub>it</sub>	i발전소의 t년도에서의 이용률에서 계획 예방 정비에 소요되는 기간으로 인한 이용률 손실 분을 공제한 것
AGE <sub>it</sub>	i발전소의 상업 가동 시작 이후의 경과 연수
PRESITE <sub>i</sub>	i발전소보다 먼저 도입되어 i발전소와 동일 부지에서 이미 가동하고 있던 발전소들의 i발전소 상업 가동 시점까지의 총 운전 연수
TRASITE1 <sub>it</sub>	i발전소보다 먼저 도입되어 i발전소와 동일 부지에서 이미 가동하고 있던 발전소들의 i발전소 상업 가동 시점부터 t년도까지의 총 운전 연수
TRASITE2 <sub>it</sub>	i발전소보다 나중에 도입되어 i발전소와 동일 부지에서 가동하고 있던 발전소들의 t년도 시점에서의 총 운전 연수
PREFIRM <sub>i</sub>	i발전소보다 먼저 도입되어 i발전소와 다른 부지에서 이미 가동하고 있던 발전소들의 i발전소 상업가동 시점까지의 총 운전 연수
TRAFIRM1 <sub>it</sub>	i발전소보다 먼저 도입되어 i발전소와 다른 부지에서 이미 가동하고 있던 발전소들의 i발전소 상업 가동 시점부터 t년도까지의 총 운전 연수
TRAFIRM2 <sub>it</sub>	i발전소보다 나중에 도입되어 i발전소와 다른 부지에서 가동하고 있던 발전소들의 t년도 시점에서의 총 운전 연수
DUMPHWR	가압경수로형과 가압중수로형의 이용률 차이를 설명하기 위해 도입된 더미 변수로써 가압경수로형에는 0을, 가압중수로형에는 1의 수치를 부여함



## 2. 자료 및 추정 방법

설정 모형 (1) 식을 추정하기 위하여, 본 연구에서는 1978부터 1994년까지의 기간동안, 9기의 원자로에 대한 자료를 이용하였다(〈표 2〉 참조). 따라서 자료는 Panel data로서 unbalanced 형태를 취하고 있다. 분석에 이용된 자료는 한국 전력 공사의 원자력업무 편람(1994), 경영통계(1995), 원자력 발전년보(1995)를 활용하였다. 일반적으로 Panel data를 사용한 모형의 추정은 GLS (Generalized Least Squares) 방법에 의한다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하고 있는 발전소의 수가 9개에 불과하고(N=9), 모든 발전소의 운전은 하나의 회사인 한국전력에서 담당하고 있으므로 각 발전소별 특성이 두드러지지 않을 것이라고 판단하여 OLS(Ordinary Least Squares) 방법에 의해 (1) 식을 추정하였다.<sup>9)</sup>

<표 2> 자료 요약

변 수	평 균	표준편차	최소치	최대치
AV	82.26	12.10	40.83	103.0
AGE	5.50	3.68	0.33	16.33
PRESITE	3.01	4.25	0	12.67
TRASITE1	3.07	5.00	0	21.99
TRASITE2	3.07	5.55	0	26.66
PREFIRM	8.30	9.81	0	26.72
TRAFIRM1	7.82	9.94	0	39.69
TRAFIRM2	7.82	10.21	0	40.59

주) 총 원자로-년 관측치수는 90이며 원자력 발전소의 이용률의 최대치가 103인 것은 설계 발전 용량을 초과하여 운전함으로써 실현된 것이다.

9) 설정 모형 (1)식의 추정에 있어서 random effect 모형에 다른 GLS 추정을 시도하였다. 그러나 Hausman(1978)의 모형 설정 검정을 실시한 결과, 각 발전소와 관련된 오차항과 독립변수들이 독립적이라는 귀무가설이 기각됨에 따라 GLS추정은 일치된 추정치를 보장하지 못하였다.

#### IV. 추정 결과

설정 모형인 (1)식의 구체적인 적용에 있어서, ①원자력 발전 설비간의 동질적 기술을 가정한 경우, ②이질적 기술을 가정한 경우, ③Westinghouse사가 설계한 원자로의 경우 등의 3가지 경우를 상정하여 (1)식에 대한 추정을 각각 수행하였다. 동질적 기술의 가정이 의미하는 것은, 발전소의 운전 경험으로 획득한 정보의 교환이 초래하는 가치가 모든 발전소에 있어서 동일하다는 것이며, 이질적 기술의 가정은 핵증기공급계통의 공급자가 다르면 서로 다른 기술의 발전소로 간주한다는 것이다. 이러한 가정은, 상이한 기술을 갖고 있는 발전소와 동질적 기술을 갖고 있는 발전소 사이의 운전 경험은 서로 차이가 있을 수 있다는 점을 설명하기 위한 것으로, 동질적 기술의 가정을 완화시킨 것이다. 그리고 Westinghouse사의 원자로만 별도로 분석한 것은, 1978년부터 1994년까지의 총원자로 운전 연수 90년 중 同社의 원자로 운전 연수가 65년으로서 전체의 72%나 차지하고 있기 때문이다. 따라서 Westinghouse사가 설계 공급한 원자력 발전소 사이의 운전 경험의 공유에 대한 분석을 수행함으로써 동질적인 발전 기술의 운전 경험이 운전 성과에 미치는 효과 분석이 필요하다고 판단된다. 추정 결과는 <표 3>과 같다.

각 모형 추정식의 결정 계수가 비교적 낮은 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 사용한 자료가 시계열 자료가 아니라 Panel자료이므로 높은 결정 계수를 얻기가 어렵지만, 각 모형의 설명 변수가 주로 학습 효과를 추정하기 위한 변수들로만 구성되어 있으며 이용률에 영향을 미칠 수 있는 기술적인 변수들을 반영하고 있지 않다는 사실에도 상당 부분 기인한다고 판단된다. 그러나 기술적인 변수는 매우 다양하기 때문에 이를 본 모형에서 반영하지 못하였다. 후속 연구에서는 이러한 기술적 변수를 추가하여 추정식의 결정 계수를 높이는 방향으로 모형의 설명력을 제고하는 것이 요망된다.

발전 기술의 차이가 원자력 발전소 운전의 학습효과에 미치는 효과 분석

<표 3> 추정 결과

변 수	동질적 기술	이질적 기술	Westinghouse
A	4.2699*** (0.0600)	4.1882*** (0.0562)	4.3431*** (0.0319)
AGE	0.0557*** (0.0169)	0.0667*** (0.0149)	0.0333*** (0.0084)
AGE <sup>2</sup>	-0.0042*** (0.0013)	-0.0042*** (0.0012)	-0.0021*** (0.0005)
PRESITE	0.0160*** (0.0059)	0.0227*** (0.0054)	0.0027* (0.0017)
TRASITE1	-0.0067* (0.0051)	-0.0079 (0.0061)	0.0039** (0.0017)
TRASITE2	0.0126** (0.0065)	0.0121 (0.0099)	0.0035** (0.0017)
PREFIRM	-0.0001 (0.0023)		0.0042** (0.0018)
PREFIRMS		0.0186*** (0.0040)	
PREFIRMD		-0.0023 (0.0022)	
TRAFIRM1	0.0060*** (0.0024)		0.0012 (0.0015)
TRAFIRM1S		-0.0071** (0.0035)	
TRAFIRM1D		0.0091*** (0.0025)	
TRAFIRM2	0.0003 (0.0029)		0.0074* (0.0040)
TRAFIRM2S		0.0001 (0.0097)	
TRAFIRM2D		-0.0028 (0.0031)	
DUMPHWR	0.0822* (0.0542)	0.1256** (0.0509)	
결정 계수	0.43	0.59	0.52

주1) \*\*\*는 1%, \*\*는 5%, \*는 10% 유의수준임

주2) ( )안은 표준편차임

동질적 발전 기술 가정 하에서의 추정 결과를 살펴보면, 운전 시간의 경과에 따른 학습 효과와 노후화 효과와 관련된 변수인 AGE와 AGE<sup>2</sup>는 매우 유의적으로 추정되었다. 이들 변수의 추정치를 해석하면 발전소의 운전 성과가 극대화되는 해는 최초 상업 운전 후 6.63년이 되는 때이며 그 이후로는 점차 감소한다는 의미이다. 그리고 동일 부지에 위치한 발전소의 운전 경험이 운전 성과에 미치는 효과와 관련된 변수는 PRESITE, TRASITE1, TRASITE2인데 이들 변수의 추정치는 모두 유

의적으로 추정되었으나, TRASITE1의 계수는 예상과 다르게 음수로 추정되었다. 그러나 그 추정치의 크기는 작은 것으로 나타났다. PRESITE와 TRASITE2의 계수는 각각 1%와 5%의 유의수준 하에서 추정되었으며 그 부호도 예상과 일치한다. 이들 추정치 중에서 PRESITE의 계수가 가장 크게 추정되었다. 이러한 추정 결과를 통해, 동일 부지에 위치한 발전소의 운전 경험은 발전소의 운전 성과의 향상에 미치는 효과가 큼을 알 수 있다. 발전소의 최초 상업 가동 운전 이전에 실현된 동일 부지 발전소들의 운전 경험이 발전소의 운전 성과에 미치는 효과를 나타내 주는 변수인 PRESITE변수의 추정치를 해석하면, 5년 동안의 이와 같은 운전 경험은 발전소의 이용률을 8.3% 상승시킨다는 것을 의미한다. 한편, 다른 부지에 위치한 발전소의 운전 경험이 운전 성과에 미치는 효과와 관련된 변수는 PREFIRM, TRAFIRM1, TRAFIRM2인데 이들 변수 중에서는 TRAFIRM1만이 유의적으로 추정되었다.<sup>10)</sup> 이들 추정 계수는 동일 부지와 관련된 변수의 추정치에 비해 상대적으로 작은 값을 갖고 있다. 이러한 추정 결과를 통해 다른 부지에 위치한 발전소의 운전 경험이 발전소의 운전 성과에 미치는 효과는 미미한 것으로 판단된다. DUMPHWR은 가압경수로와 가압중수로 사이의 이용률의 차이를 반영하기 위하여 도입된 변수인데 10%의 유의수준 하에서 추정되었으며 가압중수로의 이용률이 가압경수로의 이용률에 비하여 8.6% 더 높은 것으로 나타났다.

기술의 동질성 여부에 따라 영향을 받는 변수는 PREFIRM, TRAFIRM1, TRFIRM2 인데 동일한 기술인 경우에는 이들 변수의 마지막에 S자를 첨가시켜 PREFIRMS, TRAFIRM1S TRAFIRM2S라는 변수를, 이질적 기술인 경우에는 이들 변수의 마지막에 D자를 첨가시켜 PREFIRMD, TRAFIRM1D, TRAFIRM2D 라는 변수를 명명하였다.<sup>11)</sup> 이들 변수들의 구체적인 생성 과정은 다음과 같다: 본 모형에서 설정한 변수들은 발전소들의 운전 연수를 근본으로 하여 작성된 것이다.

10) 그러나 추정치의 크기는 작은 것으로 나타났다.

11) 동일 부지에 있는 발전소들은 이미 서로 동일한 기술을 보유하고 있으므로(핵중기공급계통의 공급자가 동일하므로) 이에 대하여는 변수의 추가가 없다. 이와 관련된 변수로는 PRESITE, TRASITE1, TRASITE2가 있다.

이는 각 변수가 의미하는 내용에 부합하는 발전소들의 운전 연수를 합하여 각 변수의 값이 결정된다는 것을 의미한다. 따라서 발전소들 간의 기술의 동질성 여부에 대한 가정에 따라 변수들의 값이 다른 값을 가질 수 있다. PREFIRM<sub>i</sub>변수의 경우를 예로 들어 설명하기로 한다. 이 변수가 의미하는 바는 i발전소보다 먼저 도입되어 i발전소와 다른 부지에서 이미 가동하고 있던 발전소들의 i발전소 상업 가동 시점까지의 총 운전 연수인데, 이 PREFIRM<sub>i</sub>변수가 의미하는 내용에 부합하는 발전소들 중에는 i발전소와 핵증기공급계통의 공급자가 동일한 발전소도 있지만 그렇지 않은 발전소도 들어 있다. 이 경우 이질적 기술을 가정하면 PREFIRM<sub>i</sub>변수는 PREFIRM<sub>S</sub>변수와 PREFIRM<sub>D</sub>변수로 나뉘어 지며, PREFIRM<sub>S</sub>변수는 PREFIRM<sub>i</sub>변수가 의미하는 내용에 부합되는 발전소들 중에서 i발전소와 핵증기공급계통의 공급자가 동일한 발전소만을 대상으로 하여 그 운전 연수를 합하여 산출되며 PREFIRM<sub>D</sub>변수는 i발전소와 핵증기공급계통의 공급자가 상이한 발전소를 대상으로 하여 산출된다. 그리고 동질적 기술을 가정한다는 의미는 모든 발전소의 핵증기공급계통의 공급자가 동일하다고 간주하는 것이므로 PREFIRM<sub>i</sub>변수를 더 세분할 필요가 없다. 기술의 동질성 여부에 따른 분석 이외에도, Westinghouse사가 설계한 발전소만을 대상으로 한 분석도 시도하였는데 이것이 바로 Westinghouse사가 설계한 원자로의 경우에 해당한다.

이질적 기술 가정 하에서의 추정 결과를 살펴보면, 운전 시간의 경과에 따른 학습 효과와 노후화 효과의 정도를 나타내는 AGE변수와 AGE<sup>2</sup>변수의 추정치는 동질적 기술을 가정한 경우와 거의 비슷한 수준으로 추정되었다. 그리고 동일 부지의 운전 경험이 운전 성과 향상에 이바지하는 정도가 역시 큰 것으로 나타났다. 특히 PRESITE변수는 매우 유의적으로 추정되었으며 추정치의 크기도 커서 운전 성과에 미치는 효과가 큼을 알 수 있다. 한편, 다른 부지의 운전 경험과 관련된 추정치는 TRAFIRM1S변수를 제외하고는 대체적으로 예상과 일치하는 것으로 나타남으로써 다른 부지의 운전 경험은 동일 부지의 운전 경험에 비해 운전 성과 향상에 미치는 효과가 미미한 것을 알 수 있다. 그러나 다른 부지라 하더라도 동일 기술의 오래된 발전소의 운전 경험을 반영하는 PREFIRM<sub>S</sub>변수는 매우 유의적으로 추정되었으나,

상이한 기술의 오래된 발전소의 운전 경험을 반영하는 TRFIRM1D변수도 또한 매우 유의적으로 추정됨으로써 발전 기술의 동질성 여부가 운전 성과에 미치는 효과에 대하여는 이상의 분석만 가지고는 일관적인 결과를 도출하기가 어렵다고 판단된다. DUMPHWR변수는 매우 유의적으로 추정됨으로써 가압중수로의 이용률이 가압경수로보다 더 높음을 설명하고 있다.

Westinghouse社가 설계한 원자로에 대한 추정 결과를 살펴보면, 모든 추정 계수의 부호는 예상과 일치하였으며 상당히 유의적으로 추정되었다. 이를, 동질적 기술의 가정과 이질적 기술의 가정 하에서의 추정 결과와 비교할 때 특이한 점은, 운전 경험 공유와 관련된 모든 변수들의 추정치가 상대적으로 작은 값을 갖지만 거의 모든 변수들이 유의적으로 추정되었다는 것이다. 이러한 추정 결과는 기술적 동질성이 운전 성과 향상에 미치는 효과가 지배적임을 의미하며, Westinghouse社가 설계 공급한 원자력 발전소 사이의 운전 경험의 공유가 활발하였던 것을 의미한다. PREFIRM과 TRAFIRM2변수의 유의적 추정을 통하여 다른 부지에 위치하고 있는 발전소 사이에서도 운전 경험의 공유가 활발하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이러한 사실은 동질적인 발전 기술을 갖고 있는 발전소의 운전 경험은 발전소의 운전 성과 향상에 매우 중요한 요인이 된다는 것을 의미한다.

## V. 결 론

우리나라의 원자력발전 산업은 다양한 구조를 지니고 있다. 원자로 형태는 대부분이 가압경수로형 이지만 1기의 가압중수로형을 보유하고 있다. 또한 원자력 발전소의 가장 핵심적인 기술이라고 할 수 있는 핵중기공급계통도 발전소별로 3 개사로 나뉘어 공급되었다. 이러한 다양성으로 인해 기술적으로 상이한 이들 발전소 사이의 운전 경험이 발전소 운전 성과의 향상을 위해 효율적으로 활용되지 않을 가능성을 내포하고 있다.<sup>12)</sup> 이러한 상황을 배경으로 한 본 연구의 실증 분석 결과, 동질적 기술을 가지고 있는 발전소들 사이의 운전 정보의 공유가 대체적으로 더 활발한

것으로 분석되었으며 동일 부지에 있는 발전소들의 운전 경험이 운전 성과 향상에 미치는 효과가 크을 알 수 있다. 이러한 실증 분석 결과는 예상과 일치하는 것으로 기존의 다양한 원자력 발전 기술의 도입이 발전소의 운전 성과 측면에서는 비효율적이었음을 지적하는 것이다.

정부의 장기 전력 수급 계획에 의하면 전력 생산의 상당 부분을 원자력에 의존하도록 되어 있는데 1997년 이후 2010년까지 추가로 도입하기로 한 원자력발전 기수는 17기에 해당한다.<sup>13)</sup> 원자력 발전의 도입 규모의 결정에는 많은 전문가들이 참여하여 활발한 연구가 진행되고 있지만 원자로 형태와 핵증기공급계통의 공급자 선정에 관하여는 그 관심의 정도가 상대적으로 적은 것이 현실이다. 향후 도입될 원자력 발전소는 지금까지 축적된 기술을 근거로 우리 기술로 공급될 예정이다. 동질적 기술의 발전소가 많이 건설되는 것이 발전소의 운전 학습 효과를 통한 운전 성과 향상을 도모할 수 있다는 점을 본 연구의 분석 결과는 실증적으로 지지하고 있다.

## 참 고 문 헌

1. 통상산업부, 『95 장기전력수급계획, 1995-2010』, 1995. 12.
  2. \_\_\_\_\_, 『경영통계』, 1995.
  3. \_\_\_\_\_, 『원자력발전년보』, 1995.
  4. \_\_\_\_\_, 『원자력발전소 표준화설계를 위한 조사용역』, 1987. 8.
  5. \_\_\_\_\_, 『원자력발전처, 원자력업무 편람』, 1994.
  6. AIF, *Standardization of Nuclear Power Plants in the U.S.*, Nov. 1986.
  7. Easterling, R.G. "Statistical Analysis of U.S. Power Plant Capacity Factors through 1979." *Energy*, Vol. 7, 1982.
  8. Housman J.A. "Specification Tests in Econometrics", *Econometrica*, Vol.46,
- 
- 12) 경수로와 중수로가 비록 기술적으로는 상이하지만 핵연료의 이용 측면에서는 기술적으로 보완적일 수 있다. 이러한 기술적인 보완 측면을 중시하여 추후에 중수로의 추가 도입을 고려하는 것은 본 연구의 범위를 벗어나는 것이다.
- 13) 통상산업부, "95 장기전력수급계획(1995-2010)", 1995. 12

1978.

9. Joskow, P.L. and Rozanski, G.A. "The Effects of Learning by Doing on Nuclear Plant Operating Reliability", *Review of Economics and Statistics*, Statistics, Vol. 61, 1979.
10. Komanoff, C. *Power Plant Performance*. New York: Council on Economic Priorities, 1976.
11. Krautmann A.C. and Solow, J. "Economies of Scale in Nuclear Power Generation", *Southern Economic Journal*, Vol. 55, 1988.
12. Lester. R.K. and McCabe, M.J. "The effect of industrial structure on learning by doing in nuclear power plant operation", *Rand Journal of Economics*, Vol. 24, No. 3, Autumn 1993.