

# 전력산업 부문별 효율성 실증 연구: 비용함수 분석을 중심으로

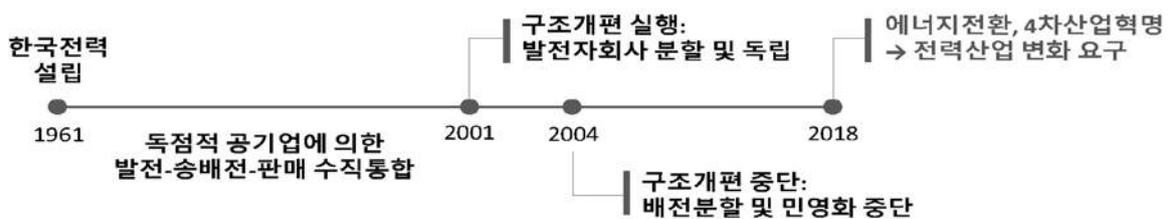
2019. 3. 29.

2018년 에너지경제연구원 연구성과발표회

김 지 호 (에너지수요관리연구팀)



## 전력산업 구조변화



### □ 제3차 에너지기본계획 권고안 주요 과제(pp. 24-31)

- “프로슈머, 다양한 에너지 저장을 통한 개인간(P2P) 전기, 열, 가스 등 에너지 거래 자유화”
- “전력시장(에너지시장, 보조서비스시장)의 개선을 통한 실시간 전력의 생산, 소비, 저장의 가치 및 가격 도출”

## 전력산업 구조변화를 논하기 전에...



### □ 전력산업은 효율적인가 (efficient)?

- 규제 환경은 생산요소의 최적 수준 투입을 보장하는가?
- 송·배전 및 판매 부문 간 독점적 수직통합은 비용 효율적인가?

### □ 비효율적이라면, 그 원인은 무엇인가?

- 높은 공기업 비중 : 발전 설비 기준 65.9% 발전량 기준 76.1% (2016년)
- 독점적 공기업이 송·배전 및 판매 부문을 수직 통합하여 운영
- 정부의 도매전력가격 및 소매전력가격(전기요금) 규제

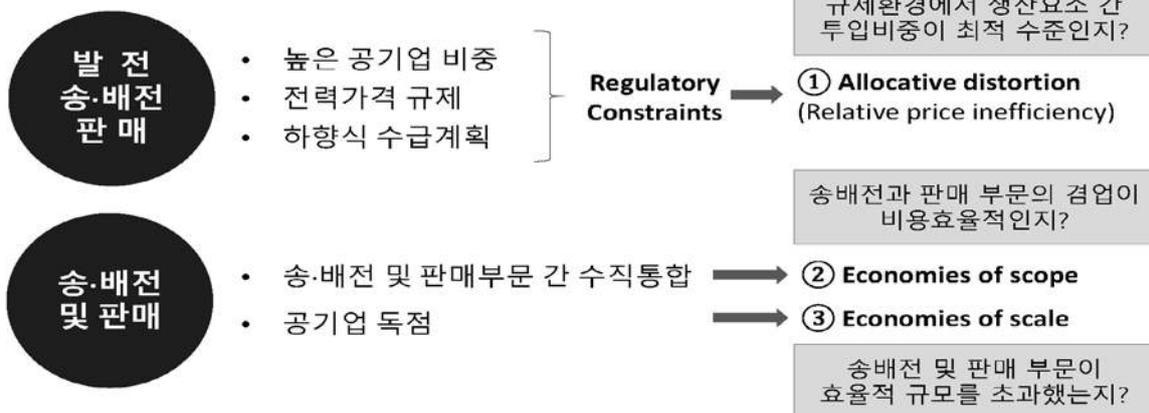
3

## 연구 목적 및 내용



### □ 연구 목적

- 전력산업 효율성을 ① 배분 효율성, ② 범위의 경제, ③ 규모의 경제 측면에서 정량적 분석



4

## 국내 선행 연구



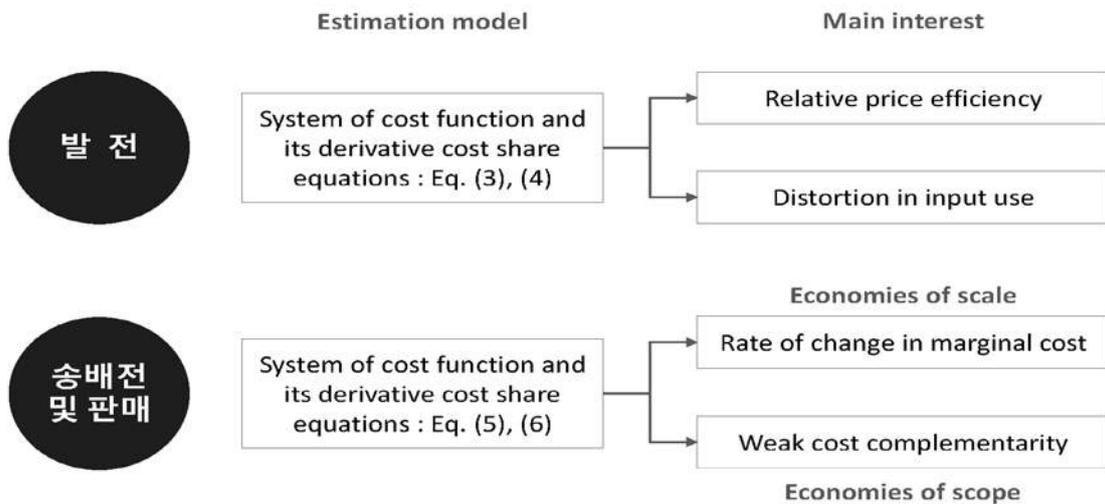
| 문헌             | 자료 유형   | 주요 결과   |
|----------------|---|---|
| 손양훈·정태용 (1993) | 발전 시계열 자료 (1964~1991년)                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>전력산업 전체에 대해서는 '90년부터 규모의 불경제 발생</li> <li>발전부문에 대해서는 '85년부터 규모의 불경제 발생</li> </ul>                     |
| 김대욱 외 (2006)   | 발전사 단위 불균형 패널자료 (1990~2005년)                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>구조개편은 총 비용을 감소시킴</li> <li>총인원과 발열량에 대한 구조개편 영향은 불확실</li> </ul>                                       |
| 김대욱·이유수 (2010) | 발전소, 발전기 단위 불균형 패널자료 (발전소: 2001~2008, 발전기: 2006~2008) | <ul style="list-style-type: none"> <li>민간발전소가 발전자회사 소속 발전소에 비해 더 효율적 연료 사용</li> </ul>   |
| 원두한·정수관 (2015) | 발전자회사 패널자료 분석 (2001~2012년)                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>용량가격이 세분화된 2004년 이후 대체적 비용 절감 및 효율성 개선</li> <li>발전분할 도입에도 불구하고, 산업 전반적으로 비효율 및 규모의 비경제 존재</li> </ul> |
| 이명헌 (2016)     | 화력발전 시계열 자료 (1990~2013년)                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>석탄·석유·가스 투입 간 배분 비효율성 존재</li> </ul>  |

5

## 분석 체계



□ 분석기간: 1982~2016 (T=35)



6

## 모형: 비용함수 분석



### □ Shadow cost function approach (Halvorsen and Atkinson, 1984; Atkinson and Cornwell, 1994)

- Lagrangian cost function with constraints by regulations and/or public ownership

$$L = \sum_h P_h X_h - \phi[f(\mathbf{X}) - Q] + \sum_{i=1}^m \lambda_i R_i(\mathbf{P}, \mathbf{X}) \quad (1)$$

$R_i$  : Regulatory constraints

- First-order condition of Eq. (1)

$$\frac{f_j}{f_k} = \frac{P_j + \sum_{i=1}^m \lambda_i \partial R_i / \partial X_j}{P_k + \sum_{i=1}^m \lambda_i \partial R_i / \partial X_k} = \frac{P_j^*}{P_k^*} = \frac{k_j P_j}{k_k P_k} \quad (2)$$

$P_j$  : Market price of input j

$P_j^*$  : Shadow price of input j

$k_j$  : Input specific factor of proportionality

7

## 추정모형: 발전 부문



### □ Single output cost function (3 inputs: K, L, F)

$$\begin{aligned} \ln C^A = & \alpha_0 + \alpha_Q \ln Q + \frac{1}{2} \alpha_{QQ} (\ln Q)^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_{iQ} \ln Q \ln(k_i P_i) + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln(k_i P_i) \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \ln(k_i P_i) \ln(k_j P_j) + \alpha_t \ln t + \ln \left\{ \sum_{i=1}^n k_i^{-1} \left( \alpha_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \ln(k_j P_j) + \alpha_{iQ} \ln Q \right) \right\} \\ & + d_{1997} D1997 + d_{2001} D2001 + d_{2011} D2011 + \beta_n N.clear + \beta_u U.rate + \varepsilon \quad (3) \end{aligned}$$

IMF 더미
구조개편 더미
회계기준 더미
원전설비 비중
설비 이용률

Asymmetry :  $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$

Homogeneity in input price :  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ;  $\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} = 0$ ;  $\sum_{i=1}^n \alpha_{iQ} = 0$

### □ Input cost share function

$$M_i^A = \frac{\left[ \alpha_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \ln(k_j P_j) + \alpha_{iQ} \ln Q \right] k_i^{-1}}{\sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \ln(k_j P_j) + \alpha_{iQ} \ln Q \right] k_i^{-1}} + \varepsilon \quad (4)$$

8

## 추정모형: 송·배전 및 판매 부문



### □ Multi-outputs cost function (2 inputs: K, L)

- $Q_T$ : Output of transmission and distribution;  $Q_R$ : Output of retail service

$$\begin{aligned} \ln C^A = & \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln(k_i P_i) + \sum_{k=1}^m \beta_k \ln Q_k + \gamma_i \ln t + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \ln(k_i P_i) \ln(k_j P_j) \\ & + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m \beta_{kl} \ln Q_k \ln Q_l + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \ln(k_i P_i) \ln Q_k \\ & + \ln \left[ \sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \ln(k_j P_j) + \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \ln Q_k \right] k_i^{-1} \right] \\ & + d_{1997} D1997 + d_{2001} D2001 + d_{2011} D2011 + r_d \text{Density} + r_{ps} p.\text{sales} + \varepsilon \quad (5) \end{aligned}$$

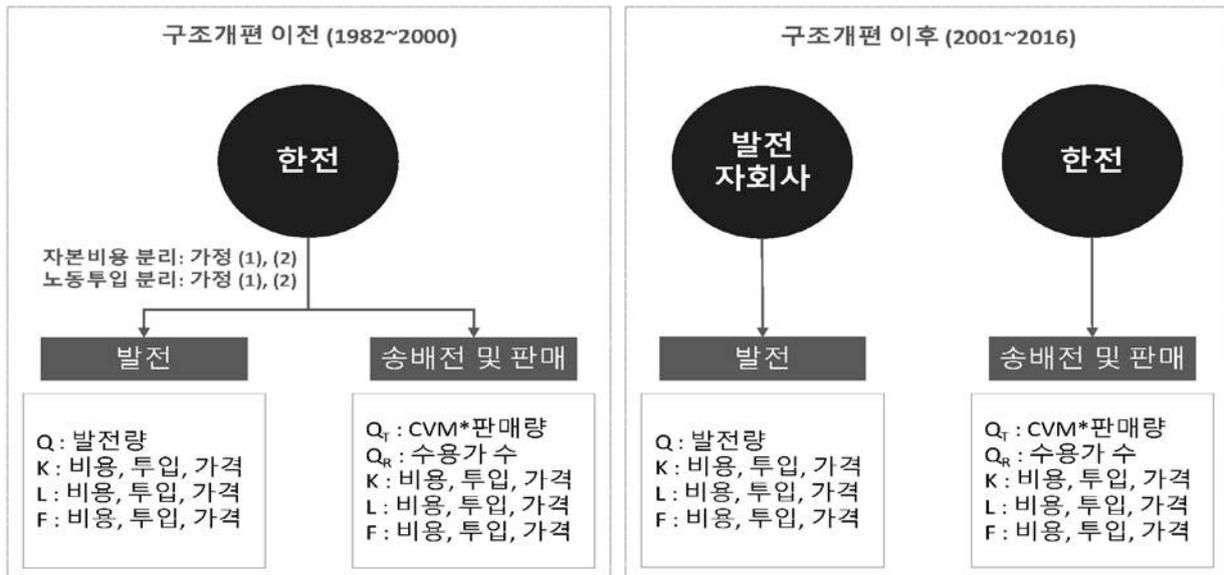
IMF 더미      구조개편 더미      회계기준 더미      송배전량 밀도      수용가당 판매량

### □ Input cost share function

$$M_i^A = \frac{\left[ \alpha_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \ln(k_j P_j) + \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \ln Q_k \right] k_i^{-1}}{\sum_{i=1}^n \left[ \alpha_i + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \ln(k_j P_j) + \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \ln Q_k \right] k_i^{-1}} + \varepsilon \quad (6)$$

9

## 분석 자료



자본비용 분리: 가정 (1) 구조개편 후 한전 대 발전자회사의 WACC 근사치 비율 (60.8:39.2)을 구조개편 전 시기에 일률 적용  
 가정 (2) 발전설비 회피비용과 송배전설비 회피비용 비율 (57.5:42.5)을 일률 적용  
 노동투입 분리: 가정 (1) 구조개편 후 한전 대 발전자회사의 임직원 수 비율(47.3:52.3)을 일률 적용  
 가정 (2) 구조개편 전 한전 내 평균 노동가격은 발전, 송배전 및 판매부문이 모두 동일  
 \*비고: 발전부문 분석대상에서 내연력, 집단에너지, 신재생에너지는 제외

10

### 발전부문 분석자료 (2000년 기준)



| 구분    |                              | 작성방식      | 자료1        | 자료2        | 자료3        | 자료4        |
|-------|------------------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 산출량   | 발전량(GWh)                     |           |            |            |            | 253,352    |
| 자본    | 비용(백만원)                      | WACC 근사치  | 114,385    | 114,385    | 167,809    | 167,809    |
|       | 투입(kW)                       | 설비용량      | 42,159,183 | 42,159,183 | 42,159,183 | 42,159,183 |
|       | 가격(원/kW)                     | 비용/투입     | 2,713      | 2,713      | 3,980      | 3,980      |
| 노동    | 비용(백만원)                      | 손익계산서 인건비 | 664,445    | 664,445    | 664,445    | 664,445    |
|       | 투입(명)                        | 임직원 수     | 15,450     | 19,078     | 15,450     | 19,078     |
|       | 가격(백만원/명)                    | 비용/투입     | 43.01      | 34.83      | 43.01      | 34.83      |
| 연료    | 비용(백만원)                      | 연료비, 재료비  |            |            |            | 7,913,389  |
|       | 투입(10 <sup>9</sup> kcal)     | 사용열량 합계   |            |            |            | 589,719    |
|       | 가격(백만원/10 <sup>9</sup> kcal) | 비용/투입     |            |            |            | 13.42      |
| 원전비중  | 원자력비중(%)                     | 설비비중      |            |            |            | 32.5%      |
| 설비이용률 | 설비이용률(%)                     |           |            |            |            | 62.2%      |

11

### 송배전 및 판매부문 분석자료 (2000년 기준)



| 구분      |                            | 작성방식       | 자료1     | 자료2     | 자료3     | 자료4                       |
|---------|----------------------------|------------|---------|---------|---------|---------------------------|
| 송배전산출량  | CVM*판매량                    | KW*c-m*MWh |         |         |         | 1,417.09×10 <sup>15</sup> |
| 판매산출량   | 수용가 수(호)                   |            |         |         |         | 14,975,793                |
| 자본      | 비용(백만원)                    | WACC 근사치   | 177,306 | 177,306 | 123,883 | 123,883                   |
|         | 투입(10 <sup>3</sup> c-m)    | 설비용량       | 377,867 | 377,867 | 377,867 | 377,867                   |
|         | 가격(원/c-m)                  | 비용/투입      | 469.23  | 469.23  | 327.85  | 327.85                    |
| 노동      | 비용(백만원)                    | 손익계산서 인건비  | 364,379 | 364,379 | 364,379 | 364,379                   |
|         | 투입(명)                      | 임직원 수      | 14,091  | 10,463  | 14,091  | 10,463                    |
|         | 가격(백만원/명)                  | 비용/투입      | 25.86   | 34.83   | 25.86   | 34.83                     |
| Density | 배전밀도(c-m/km <sup>2</sup> ) |            |         |         |         | 3,532                     |
| p.sales | 판매량(MWh/호)                 |            |         |         |         | 15.995                    |

12

## 발전부문 : Estimation Result



| 계수            | 추정치               | 계수            | 추정치               |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| $\alpha_0$    | 14.17*** (0.779)  | $\alpha_{KL}$ | -0.038*** (0.014) |
| $\alpha_K$    | 0.127*** (0.049)  | $\alpha_{LL}$ | 0.103*** (0.024)  |
| $\alpha_L$    | 0.107*** (0.036)  | $k_K$         | 38.73*** (5.794)  |
| $\alpha_Q$    | -1.511*** (0.552) | $k_L$         | 4.294*** (1.537)  |
| $\alpha_{QQ}$ | 1.141*** (0.186)  | $d_{1997}$    | 0.108 (0.070)     |
| $\alpha_{KQ}$ | -0.061*** (0.018) | $d_{2001}$    | -0.393*** (0.140) |
| $\alpha_{LQ}$ | -0.048*** (0.018) | $d_{2011}$    | -0.059 (0.063)    |
| $\alpha_T$    | 0.798* (0.426)    | $\beta_n$     | -3.148*** (0.441) |
| $\alpha_{KK}$ | 0.154*** (0.020)  | $\beta_u$     | 1.411** (0.706)   |

주 1) 자료 1에 대한 추정 결과: 자본자료 (1), 노동자료 (1) 및 연료자료 사용  
 주 2) \*\*\*, \*\*, \*은 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 유의  
 주 3) 자료 1~자료 4에 걸쳐 계수 추정결과는 크게 달라지지 않음.

13

## 발전부문 : Relative price efficiency



### □ Relative price efficiency

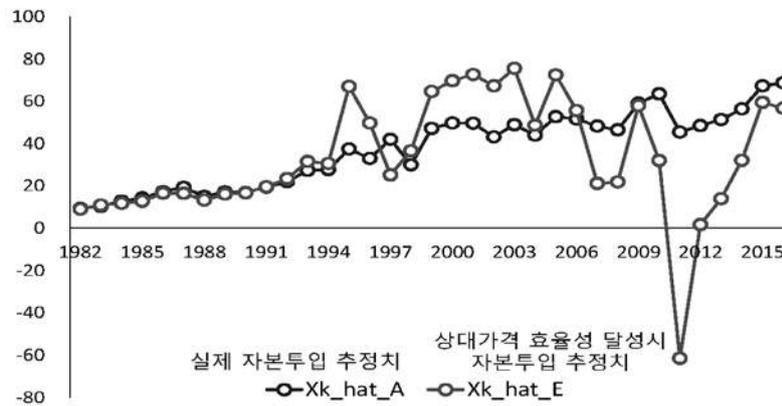
- 암묵가격과 시장가격이 다르더라도, 시장가격 기준에서 투입요소 간 효율적 배분이 달성되면 relative price efficient
- Relative price efficiency에 대한 4개 귀무가설을 모두 기각
- 발전사업에 내재된 여러 유형의 비효율적 요인 등으로 인해 주어진 시장가격으로 각 생산요소의 적정수준 투입을 통한 비용최소화를 달성하지 못함.

| 제약조건                    | 자료 1     | 자료 2     | 자료 3     | 자료 4     |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| $k_K = k_L = k_F (= 1)$ | 72.98*** | 82.92*** | 73.37*** | 80.70*** |
| $k_K = k_L$             | 22.85*** | 39.01*** | 23.02*** | 34.63*** |
| $k_K = k_F (= 1)$       | 31.88*** | 51.81*** | 37.10*** | 57.72*** |
| $k_L = k_F (= 1)$       | 10.16*** | 5.441**  | 8.126*** | 4.886**  |

주) \*\*\*은 1% 수준에서 귀무가설 기각

14

## 발전부문 : Distortions in Capital Use



- 자본투입 왜곡은 1995~1997, 1999~2005, 2008~2013년에 심화되며, 이는 WACC 근사치 변동에서 기인
- 1995~1997 : 경영실적 악화가 유발한 배당금 감소 → WACC 근사치 감소
- 1999~2005 : 발전경쟁 및 송배전판매부문 구조개편 준비를 위한 차입금 감소 → WACC 근사치 감소
- 2008~2013 : 발전자회사 경영악화로 인한 사채증가 → WACC 근사치 증가

15

## 발전부문 : Distortions in Labor Use



- 노동투입 왜곡은 구조개편 영향기(1990년대 후반~2000년대 중반) 및 2008~2013년에 심화
- 구조개편 영향기:  $Xl\_hat\_A < Xl\_hat\_E$  → 타 요소투입 대비 상대적으로 노동이 과소 투입
- 2008~2013년 :  $Xl\_hat\_A > Xl\_hat\_E$  → 타 요소투입 대비 상대적으로 노동이 과대 투입

16

## 발전부문 : Distortions in Fuel Use



- 연료투입 왜곡이 심화되는 기간은 2차 걸프전쟁, 2000년대 후반의 고유가 등 에너지 가격이 급격히 상승한 기간을 포괄
- 2013년 이후 유가 하락기에 연료투입 왜곡이 심화되는 것으로 분석

17

## 송·배전 및 판매부문 : Estimation Result



| 계수            | 추정치               | 계수            | 추정치               |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| $\alpha_0$    | 2.478 (2.243)     | $\delta_{KT}$ | 0.034* (0.018)    |
| $\alpha_K$    | 0.663*** (0.009)  | $\delta_{KR}$ | 0.013 (0.045)     |
| $\alpha_{KK}$ | 0.231*** (0.005)  | $k_K$         | 1.993*** (0.106)  |
| $\gamma_t$    | 0.763*** (0.180)  | $d_{1997}$    | -0.221*** (0.078) |
| $\beta_T$     | -5.346*** (0.908) | $d_{2001}$    | 0.681*** (0.166)  |
| $\beta_R$     | 8.760*** (1.778)  | $d_{2011}$    | -0.064 (0.039)    |
| $\beta_{TT}$  | 2.824 (2.792)     | $r_d$         | 6.328*** (1.236)  |
| $\beta_{TR}$  | -6.336 (7.361)    | $r_{ps}$      | -0.001 (0.001)    |
| $\beta_{RR}$  | 15.75 (19.11)     |               |                   |

주 1) 자료 1에 대한 추정 결과: 자본자료 (1), 노동자료 (1) 및 연료자료 사용  
 주 2) \*\*\*, \*\*, \*은 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 유의  
 주 3) 자료 1~자료 4에 걸쳐 계수 추정결과는 크게 달라지지 않음.

18

## 송·배전 및 판매부문 : Scale and Scope Economies



|      | Rate of change in marginal cost |                 | Weak Cost Complementarity |
|------|---------------------------------|-----------------|---------------------------|
|      | 송배전                             | 판매              |                           |
| 자료 1 | 36.75*** (11.96)                | 83.72* (46.43)  | -40.50* (21.91)           |
| 자료 2 | 35.89*** (11.5739)              | 130.5* (67.84)  | -29.62 (26.52)            |
| 자료 3 | 46.68*** (13.65)                | 126.9** (53.45) | -51.14** (25.02)          |
| 자료 4 | 19.09** (8.123)                 | 70.27 (52.25)   | -11.89 (19.76)            |

주 1) Condition of decreasing marginal cost :  $[\beta_{kk} + \beta_k(\beta_k - 1)] < 0, k = T, R$

주 2) Condition of weak cost complementarity :  $\{(\beta_k \times \beta_l) + \beta_{kl}\} < 0, k, l = T, R$

주 3) \*\*\*, \*\*, \*은 delta method 로 도출한 asymptotic standard error에 근거해 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 유의

- 송배전부문과 판매부문 모두 한계비용이 감소하지 않음. → 규모의 경제성 충분조건을 만족하지 못함.
- 송배전부문과 판매부문 모두 비용 효율적 규모를 상회하는 수준
- 송배전 부문과 판매부문 간 약비용보완성 존재 → 범위의 경제성 필요조건 만족
- 송배전과 판매 부문 간 수직통합을 통한 비용 효율성 향상 효과도 일정 부문 존재

19

## 발전 부문 : 결론 및 시사점



분석  
결과

- 자본-노동-연료 간 배분 비효율성 존재
- 발전부문 규제환경 및 공기업적 특성 → 암묵가격에 근거한 의사결정
- 2008~2013년 글로벌 금융위기 및 고유가 : 한전 경영실적 악화 → 정산조정을 통해 발전자회사 경영실적 악화 → 자본투입 왜곡
- 2000년대 후반 경영실적 악화에도 불구하고 노동투입의 왜곡 발생

시사점

- 도매시장 정산방식 및 전기요금 관련 규제 개선 필요
- 발전부문 민간사업자 비중 확대를 통한 공기업적 특징 완화

20

## 송배전 및 판매 부문: 결론 및 시사점



### 분석 결과

- 자본-노동 간 배분 비효율성 존재
- 규제환경 및 공기업적 특성 → 암묵가격에 근거한 의사결정
- 송배전 부문과 판매 부문 모두 규모의 경제 상실
- 송배전 부문과 판매 부문 간 범위의 경제 존재

### 시사점

- 송배전 부문은 해외사례 검토 및 후속연구를 통해 효율 개선방향 도출
- 판매 부문은 네트워크 외부성이 존재하지 않으므로, 분할 및 경쟁 도입이 효율성 향상에 기여할 수 있음.
- 수직분리에서 비롯된 효율성 감소에 대한 대비책 마련 필요

21

# 감사합니다

[jihyokim@keei.re.kr](mailto:jihyokim@keei.re.kr)