# 에너지기술 수출산업화 전략연구

## -원자력 산업의 중동·북아프리카 지역 선점 전략연구-

2012. 12. 18

김남일

KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

# Contents


1 연구배경

2 세계 원전산업 동향 및 중동·북아 원전 도입여건

3 원전산업 해외진출의 이론 및 실증분석 결과

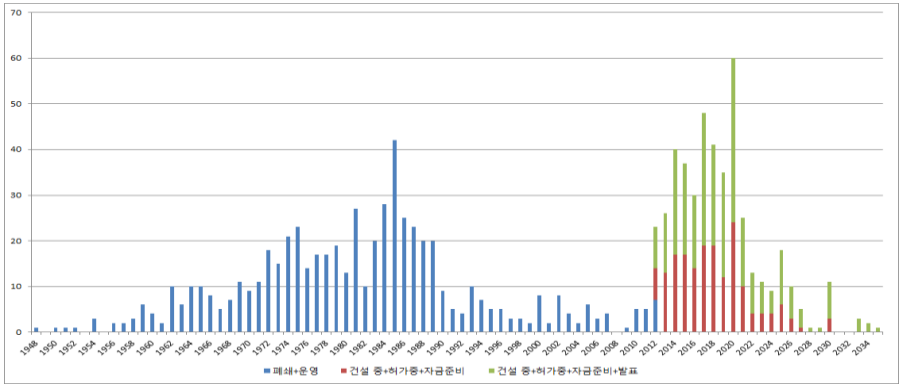
4 원전 진출전략 및 결론

# 1 연구배경

# 1. 원자력 르네상스와 후쿠시마 원전 사고

- 원자력 르네상스 : 2000년 대 후반 전 세계적인 원전 수요의 증가

원자력 르네상스(원전건설 개수)



자료: Power eTrack, 2012.9.12

2012년 6월 기준 전 세계 원전 현황

| 운영 중 | 건설 중 | 계획 중 | 제안단계 |
|---|---|---|---|
| 433기 | 63기 | 160기 | 329기 |
| 연간 140조원 시장 형성 전망(2030년까지) | | | |

자료: 세계원자력협회(WNA) 발표 인용

- 후쿠시마 사고 이후 각 국 원전 정책 변화

| 원전 폐지 | 점진적 축소 | 원전 건설 및 확대 | 원전계획 중단 및 보류 |
|---|---|---|---|
| 독일, 이탈리아, 스위스, 벨기에 등 | 프랑스 | 한국, 미국, 중국, 러시아, 인도, 영국, 폴란드, UAE 등 | 요르단 등 |

# 2. 연구의 초점

- 2009년 12월 한전 컨소시엄 UAE 원전 4기 수주(200억 불)
  - 이란 부셰르 원전(1974년 건설 시작(독일 Siemens), 1979년 건설 중단, 2011년 완공/러시아(Rosatom)) 이후 중동 최초의 원전
  - 한국형 원전의 안전성과 경제성 입증
  - 원전산업이 한국의 새로운 성장동력이 될 것으로 기대
  - 중동지역은 경제발전과 급속한 전력 수요의 증가로 인한 가스부족으로 원전도입의 가능성이 큼

- 연구의 초점
  - UAE의 선점효과 극대화 방안 연구
  - 원전 수출 전략에 대한 이론적·실증적 접근
  - UAE와 인근 중동·북아프리카 지역 추가 진출 가능성
  - 원전 수출에 대한 다각적 전략 도출

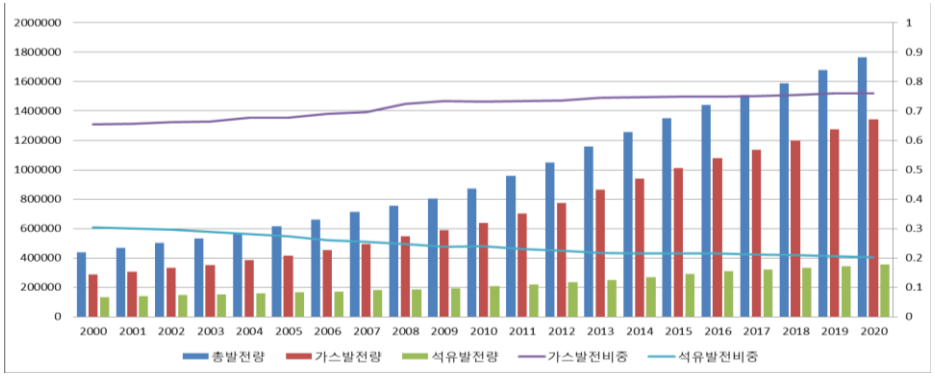
# 2 세계 원전산업 동향 및 중동·북아 원전 도입여건

# 1-1. 중동·북아프리카(MENA) 원전 도입 여건분석

## MENA 지역 전력 수요의 증가와 가스 소비 증가

- 지난 10년간 MENA 지역 연평균 전력소비 증가율 5.3%(세계 평균 2.7%)
- 전력생산 중 가스발전 비중 75% 이상
- 2000년 이후 가스 소비량은 약 2배 증가, 평균 7.8%의 성장세
- 가스 발전을 대체할 원전도입의 필요성 증가

MENA 주요국 석유 및 가스 전력발전 전망

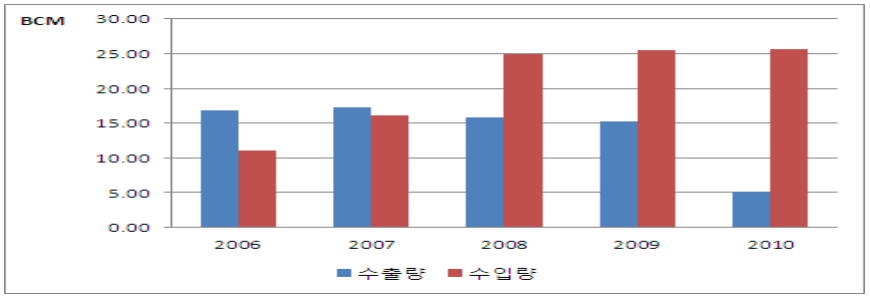



자료: Global Data: Power eTrack (2012)

## UAE 원전도입 배경

- 급증하는 전력수요를 충당하기 위한 가스소비의 증가
- 2008년 이후 가스 수입량이 가스 수출량을 초과
- 가스발전을 대체하기 위한 원전 도입 추진

UAE 가스 수출입량



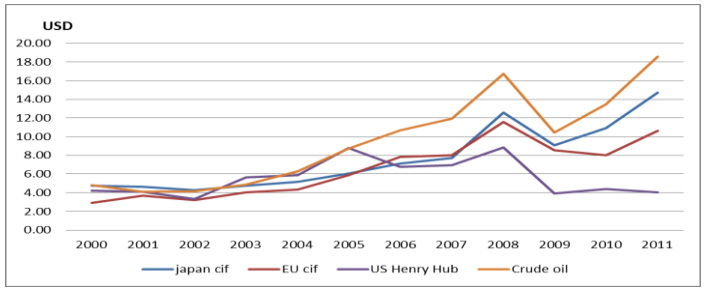

자료: OPEC, Annual Statistics Bullet (2012)

# 1-2. 중동·북아프리카(MENA) 원전 도입 여건분석

## 북미 셰일가스의 등장

- 중동산 가스에 대한 전 세계 수요감소(카타르 역할 변화)
- MENA 지역 내 가스 수급 여건 개선
- 원전 수요에 대한 대체가능성

세계 가스 및 석유 가격 추이




자료: BP Statistical Review of World Energy (2012)

## 신재생에너지 개발

- MENA 지역은 태양에너지 및 풍력에너지 발전여건이 양호
- 현재 약 150여개의 신재생에너지 사업 진행 중
- Desertec사업 및 MSP프로젝트의 진행상황을 고려할 때 신재생 에너지 발전량은 예상에 못 미치는 수준으로 전망

## 단일 전력망 구축(GCC Power Grid)

- 2009년 상반기 1단계 프로젝트 완료: 쿠웨이트, 사우디, 바레인, 카타르를 잇는 800km 송전망 구축
- 한 국가에서 여유분의 전력량을 인근 국가로의 수출 가능성

GCC Power Grid

GCCIA Grid - April 2011

자료: GCCIA

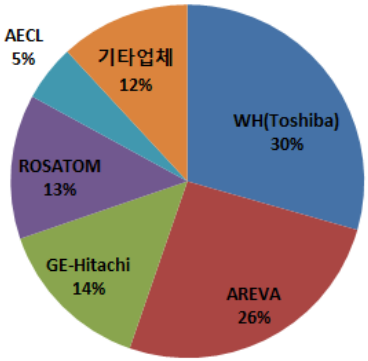
# 2. 글로벌 원전 기업체 동향

## 글로벌 원전 업체 현황 및 강·약점 분석

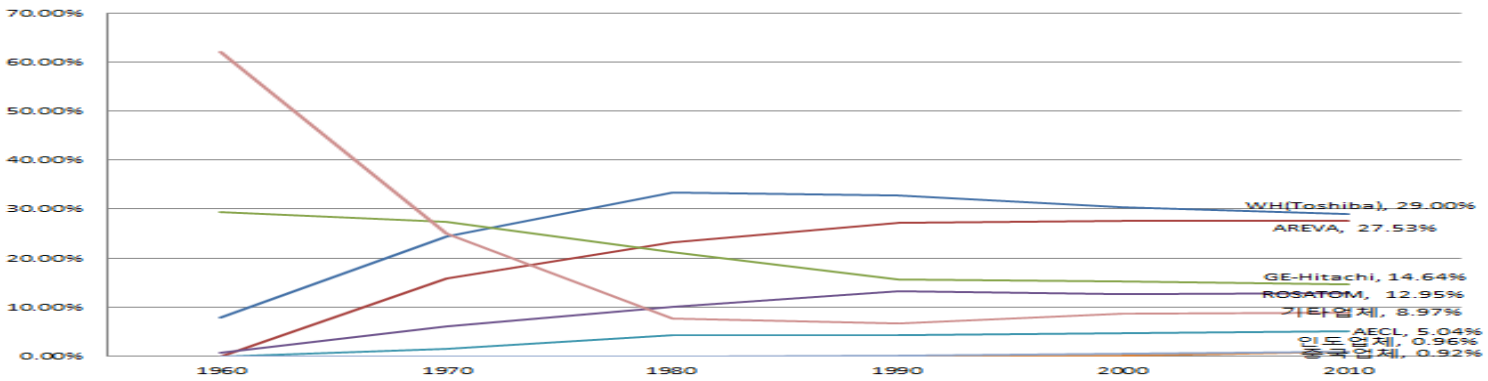
| 국가 (대표업체) | 원자로형 및 명칭 | 주력시장 | 강점 | 단점 |
|---|---|---|---|---|
| 프랑스 (AREVA) | EPR, SWR1000 | 유럽/선진 | Total Solution 가능 | EPR 건설지연 (Olkilouto3, Flamanville3) |
| 일본 (Toshiba-Westinghouse) | AP1000 | 미/일/ 전세계 | 뛰어난 (원천)기술력 | 비싼 건설단가 |
| 미국 (GE-Hitachi) | ESBWR | 미/일 | BWR 방식 과점 | 노형 자체 비선호 |
| 러시아 (Rosatom) | VVER | 구 사회주의국 | Total Solution 가능 | 선진국 진출 제한 |
| 한국 (한국전력) | APR1400 | 중동/아시아/ 남미 | 경제성/안정성 | 기술 완전 자립 미비 |

자료: 한수원, Bloomberg 등 / 동부리서치 수정 인용

원전 업체별 세계 시장 점유율 (2011년 설비용량 기준)




원전업체별 시장점유율 추이(10년 단위)



# 3 원전산업 해외진출의 이론적·실증적 모형

# 1-1. 선발자 이득(First-mover advantage) 모형

- 선발자 이득 모형 : Stackelberg 모형의 확장
  - Leader, Follower 존재 → 선발자이득, 선점효과
  - 수요의 불확실성, 비용격차 존재
  - 직관적 예측

    1)수요의 불확실성이 존재한다면
    - 선발자(First-mover): 먼저 행동하여 얻는 이익 뿐만 아니라 잘못된 선택으로 인한 피해 가능
    - 후발자(Second-mover): 더 나은 정보 하에서 행동

    2) 두 기업간 비용의 격차가 존재하는 경우, 비용이 유리한 기업이 먼저 행동하는 경우에 선발자(first-mover) 이익이 발생

    3) 수요의 불확실성과 비용격차가 동시에 존재하는 경우, 비용이 유리한 기업이 먼저 행동하여 선발자 이익을 얻기 위한 수요의 불확실성 정도와 비용격차의 크기 사이의 일정한 균형조건이 존재할 수 있다.

  - 모형결과 확인

# 1-2. 선발자 이득(First-mover advantage) 테스트

## 사용자료

- AEA에서 발간한 'Nuclear Power Reactors in the world 2012'
- AEA에서 발간한 'Nuclear Power Reactors in the world 2012건설 예정 중인 원전과 운영 중인 원전, 폐쇄된 원전들의 표를 통합하여 1954년부터 2011년까지 총 34개 국가의 643개 원전에 대한 패널데이터를 작성
- 별도의 업체분류 과정을 거침

IAEA, 'Nuclear Power Reactors in the World, 2012'

TABLE 14. REACTORS IN OPERATION, 31 DEC. 2011

| Country | Reactor Code | Reactor Name | Type | Model | Capacity (MW) Thermal | Gross | Net | Operator | NSSS supplier | Construction Start | Grid connection | Commercial operation | EAF % 2007-2011 | UCF % 2007-2011 | Non-electrical applics |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ARGENTINA | AR -1 | ATUCHA-1 | PHWR | PHWR KWU | 1179 | 357 | 335 | NASA | SIEMENS | 1968-6 | 1974-3 | 1974-6 | 87.4 | 87.6 | - |
| | AR -2 | EMBALSE | PHWR | CANDU 6 | 2015 | 648 | 600 | NASA | AECL | 1974-4 | 1983-4 | 1984-1 | 80.1 | 80.2 | - |
| ARMENIA | AM -19 | ARMENIA-2 | PWR | VVER V-270 | 1375 | 408 | 375 | ANPPJSC | FAEA | 1975-7 | 1980-1 | 1980-5 | 71.2 | 72.3 | - |
| BELGIUM | BE -2 | DOEL-1 | PWR | WE (2 loops) | 1311 | 454 | 433 | ELECTRAB | ACECOWEN | 1969-7 | 1974-8 | 1975-2 | 84.9 | 84.9 | - |
| | BE -4 | DOEL-2 | PWR | WE (2 loops) | 1311 | 454 | 433 | ELECTRAB | ACECOWEN | 1971-9 | 1975-8 | 1975-12 | 90.7 | 90.7 | - |
| | BE -5 | DOEL-3 | PWR | WE 3-loops | 3054 | 1056 | 1006 | ELECTRAB | FRAMACEC | 1975-1 | 1982-6 | 1982-10 | 86.8 | 87.1 | - |
| | BE -7 | DOEL-4 | PWR | WE 3-loops | 2988 | 1090 | 1039 | ELECTRAB | ACECOWEN | 1978-12 | 1985-4 | 1985-7 | 86.4 | 86.4 | - |
| | BE -3 | TIHANGE-1 | PWR | Framatome 3 lo | 2873 | 1009 | 962 | ELECTRAB | ACLF | 1970-6 | 1975-3 | 1975-10 | 87.1 | 88.1 | - |
| | BE -6 | TIHANGE-2 | PWR | WE 3-loops | 3064 | 1055 | 1008 | ELECTRAB | FRAMACEC | 1976-4 | 1982-10 | 1983-6 | 89.8 | 90.1 | - |
| | BE -8 | TIHANGE-3 | PWR | WE 3-loops | 3000 | 1094 | 1046 | ELECTRAB | ACECOWEN | 1978-11 | 1985-6 | 1985-9 | 88.3 | 88.9 | - |
| BRAZIL | BR -1 | ANGRA-1 | PWR | 2-loop WE | 1882 | 640 | 609 | ELETRONU | WH | 1971-5 | 1982-4 | 1985-1 | 73.0 | 73.1 | - |
| | BR -2 | ANGRA-2 | PWR | PRE KONVOI | 3764 | 1350 | 1275 | ELETRONU | KWU | 1976-1 | 2000-7 | 2001-2 | 90.3 | 90.9 | - |
| BULGARIA | BG -5 | KOZLODUY-5 | PWR | VVER V-320 | 3000 | 1000 | 953 | KOZNPP | AEE | 1980-7 | 1987-11 | 1988-12 | 86.3 | 86.7 | DH |
| | BG -6 | KOZLODUY-6 | PWR | VVER V-320 | 3000 | 1000 | 953 | KOZNPP | AEE | 1982-4 | 1991-8 | 1993-12 | 86.1 | 86.7 | DH |
| CANADA | CA -10 | BRUCE-3 | PHWR | CANDU 750A | 2832 | 805 | 730 | BRUCEPOW | OH/AECL | 1972-7 | 1977-12 | 1978-2 | 76.6 | 77.2 | - |
| | CA -11 | BRUCE-4 | PHWR | CANDU 750A | 2832 | 805 | 730 | BRUCEPOW | OH/AECL | 1972-9 | 1978-12 | 1979-1 | 86.9 | 87.4 | - |
| | CA -18 | BRUCE-5 | PHWR | CANDU 750B | 2832 | 872 | 817 | BRUCEPOW | OH/AECL | 1978-6 | 1984-12 | 1985-3 | 90.7 | 91.0 | - |
| | CA -19 | BRUCE-6 | PHWR | CANDU 750B | 2690 | 891 | 817 | BRUCEPOW | OH/AECL | 1978-1 | 1984-6 | 1984-9 | 85.8 | 85.9 | - |
| | CA -20 | BRUCE-7 | PHWR | CANDU 750B | 2832 | 872 | 817 | BRUCEPOW | OH/AECL | 1979-5 | 1986-2 | 1986-4 | 89.9 | 90.0 | - |
| | CA -21 | BRUCE-8 | PHWR | CANDU 750B | 2690 | 845 | 817 | BRUCEPOW | OH/AECL | 1979-8 | 1987-3 | 1987-5 | 91.7 | 91.9 | - |
| | CA -22 | DARLINGTON-1 | PHWR | CANDU 850 | 2776 | 934 | 878 | OPG | OH/AECL | 1982-4 | 1990-12 | 1992-11 | 88.5 | 89.6 | - |
| | CA -23 | DARLINGTON-2 | PHWR | CANDU 850 | 2776 | 934 | 878 | OPG | OH/AECL | 1981-9 | 1990-1 | 1990-10 | 89.5 | 90.4 | - |
| | CA -24 | DARLINGTON-3 | PHWR | CANDU 850 | 2776 | 934 | 878 | OPG | OH/AECL | 1984-9 | 1992-12 | 1993-2 | 92.5 | 93.4 | - |
| | CA -25 | DARLINGTON-4 | PHWR | CANDU 850 | 2776 | 934 | 878 | OPG | OH/AECL | 1985-7 | 1993-4 | 1993-6 | 87.8 | 88.6 | - |

Note: The column "Non-electrical applications" indicates the use of the facility to provide: DH district heating.

## 실증분석 모델

$$(1)\ Market\,Share_{i,c,t} = \sum_{j=1}^{4} \beta_j \times EntryDummy_{j,c,t} + Constant_{i,c,t} + e_{i,c,t}$$

$$(2)\ Market\,Share_{i,c,t} = \sum_{j=1}^{4} \beta_j \times EntryDummy_{j,c,t} + \sum_{k=1}^{6} \beta_k \times Cross\,Dummy_{k,c,t} + Constant_{i,c,t} + e_{i,c,t}$$

Berger & Dick(2007) "Entry into Banking Markets and the Early-Mover Advantage" 참조

- 종속변수: 각 기업이 연도별로 해당국가에서 갖는 원전설비 시장점유율(market share)
- 설명변수: Areva, GE-Hitachi, Rosatom, WH(Toshiba) 기업의 진입연도 더미변수. 해당 국가에 진입하기 이전에는 0의 값을 가지며, 진입한 이후 연도에는 1의 값을 가진다. 또한 4개 기업의 교차항(Cross term) 더미 역시 사용되었는데, 해당 국가에 두 개 기업이 같이 존재하는 연도에 1의 값을, 아닌 경우 0의 값을 가진다.

# 1-3. 선발자 이득(First-mover advantage) 테스트

## 실증분석 결과

| | 34개국 대상 | |
|---|---|---|
| 설명변수 | 분석모형 1 | 분석모형 2 |
| Areva 진입더미 | 56.093*** | 73.725*** |
| | (0.8620) | (1.0703) |
| GE-Hitachi 진입더미 | 34.482*** | 50.160*** |
| | (0.7505) | (0.8894) |
| Rosatom 진입더미 | 79.775*** | 91.658*** |
| | (0.8891) | (0.8690) |
| WH(Toshiba) 진입더미 | 47.536*** | 75.102*** |
| | (0.7285) | (0.9739) |
| Areva*GE | | -4.255*** |
| | | (1.1981) |
| Areva*Rosatom | | 9.847*** |
| | | (1.8837) |
| Areva*WH(Toshiba) | | -27.056*** |
| | | (1.0504) |
| GE-Hitachi*Rosatom | | -41.638*** |
| | | (2.0051) |
| GE-Hitachi*WH(Toshiba) | | -18.830*** |
| | | (0.9774) |
| Rosatom*WH(Toshiba) | | -40.058*** |
| | | (1.5064) |
| Constant | 1.937*** | 1.937*** |
| | (0.1447) | (0.1313) |
| Observations | 15,232 | 15,232 |
| R-squared | 0.530 | 0.613 |

### 실증분석 결과 설명

- (분석모형 1에서) 각 설명변수의 계수값은 어떤 특정기업, 예를 들어 Areva가 원전도입국가에 일단 진입했을 때, 추가적으로 유발하는 시장점유율 효과를 보여준다. Areva는 원전1기의 진입은 0.56의 진입유발효과를 가진다. 그러나, Areva가 진입할 당시, 다른 기업 예를 들어 WH가 존재하는지 여부는 상관없다.

- (분석모형 1에서) 4가지 진입더미의 값이 0.34~0.79로 모두 유의적인 값을 보이는 것은 여타기업의 존재 혹은 단독으로 존재하든 그 기업의 진입자체가 추가적인 진입을 유발할 수 있는 진입효과(entry effect)가 상당하다는 것을 보여준다.

- (분석모형 2에서) Areva진입더미의 계수는 0.73인데, 이것은 Areva 원전1기의 진입 당시, 다른 여타기업이 존재하지 않을 경우, 0.73의 추가적인 진입유발효과가 있다는 의미가 있다.

- (분석모형 2에서) 4가지 진입더미의 값이 0.5~0.91까지 1에 근접한 매우 큰 수자(모두 유의적)를 보여주는 것은 First-mover advantage가 존재한다는 것을 의미한다.

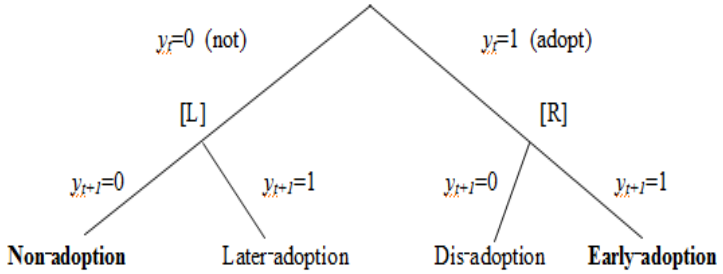
- (분석모형 2에서) 4가지 진입더미 중에서 Rosatom이 특히 큰 이유는 구소련 당시에 CIS국가가 러시아에 속해 있었기 때문에 종속성이 매우 큰 것 때문이라고 볼 수 있다.

- (분석모형 2에서) cross-effect 항의 계수는 (-)가 되는 것이 자연스럽다. 즉, 혼자만 존재할 때 보다 다른 기업이 함께 존재하는 경우에는 시장점유율에 차감효과를 가져 오게 된다.

✓ 4개국 제외(Own effect 제외) 30개국 대상 분석 수행

# 2-1. 기술선택(Technology adoption)모형

- 기술선택(Techology adoption) 모형




기술선택나무(동일기술사례)

실증모형

$$y_{i,j,t} = \alpha_1 y_{i,j,t-1} + \alpha_2 y_{i,\sim j,t} + \alpha_3 y_{i,\sim j,t-1} + \beta_1 x_{i,t} + \beta_2 x_{i,j,t} + \varepsilon_{ijt}$$

- 종속변수: 어떤 국가가 특정 원전기업의 기술을 도입하는지 여부 (변수값: 1, 0)
- 설명변수:
  - $\alpha_1 \; y_{i,j,t-1}$ : 지속효과(persistent effect) (변수값: 1, 0)
  - $\alpha_2 \; y_{i,-j,t}$ : 동반효과(package effect) (변수값: 1, 0)
  - $\alpha_3 \; y_{i,-j,t-1}$ : 시차동반교차효과(lagged cross-effect) (변수값: 1,0)

- 사용자료: 선점자 이득 모형 사용자료와 동일

# 2-2. 기술선택(Technology adoption)모형

## 실증분석 결과

| | | Areva | GE-Hitachi | ROSATOM | WH(Toshiba) |
|---|---|---|---|---|---|
| (지속효과) | 계수 | 0.348*** | -0.006 | 0.427*** | 0.207*** |
| | t 값 | (12.398) | (-0.212) | (18.986) | (6.136) |
| (시차동반 교차효과) | 계수 | -0.170*** | 0.092*** | -0.260*** | -0.033 |
| | t 값 | (-6.574) | (3.407) | (-12.651) | (-1.027) |
| $R^2$ | | 0.215 | 0.051 | 0.373 | 0.105 |
| 관측수 | | 609 | 609 | 609 | 609 |

$\alpha_3$

**실증분석 결과 설명**

- Areva, Rosatom, WH 의 원자로 기술은 전번 회차에 선택되어 있었다면 금번 회차에 선택될 확률이 높으며, 매우 유의적인 것으로 나타났다. 지속효과의 존재를 지지함.
- 지속효과의 존재는 이전에 논의했던 선발자 이득과 그 시사점이 유사하다. 각 모형의 실증분석에 따른 결과 역시 유사한 방향으로 도출되었는데 이는 두 모형의 결과의 정합성(consistency)이 존재함을 시사한다.
- Areva, Rosatom 의 경우 전번 회차에 다른 기술이 선택되어 있는 경우라면, 금번 회차에 선택될 확률을 낮추는 요인으로 작용하며, 계수는 매우 유의적인 것으로 나타났는데 이는 기술간 대체성(substitution, not complementary)이 존재함을 보여주는 결과이다.
- GE-Hitachi의 경우 지속효과의 계수는 유의하지 않은 것으로 나타났고 시차동반 지속효과 역시 매우 미미한 것으로 나타났다. 이는 GE-Hitachi의 원자로가 BWR 노형으로 안전성 문제로 인해 전 세계적으로 선호되지 않는 현실이 반영된 것으로 보인다.

# 4 원전진출 전략 및 결론

# 1-1. 원전진출 전략

- 중동 · 북아프리카 지역 선점전략 추구
  - 선발자모형의 이론적·실증적 결과: 선점효과 입증
  - UAE 원전 4기 사업을 통해 우수한 시공능력 입증 → 긍정적 평판(reputation) 형성

- 원전진출을 위한 효율적 파이낸싱 방안
  - 원전 수출 파이낸싱의 어려움
    - 대규모 재원조달, 장기간의 사업기간, 높은 위험성 / PF 제한
    - 수출입은행 등 정책금융기관 자본여력 한계: 수은 자본금 8조, UAE 대출 금액 10조
    - 국내 민간은행의 한계: 소규모, 장기간의 높은 위험성 투자 제한
    - 외국계 자본 활용 제한: WB, ADB 원전대출 금지, 원전 경쟁국 자금 대여 제한
  - 공적금융기관 자본여력 확대 / 외국계 자금(중동 fund 등) 도입 활성화

- 정부차원 원전수출 지원방안
  - 과거 성공적인 정부 주도 원전 정책: 인력양성, R&D 투자 촉진
  - 포괄적 협상을 위한 전략(경제개발경험 전수, 산업협력 등) 수립
  - 정치적·국가적 리스크 부담 역할 필요(파이낸싱, R&D 등)

# 1-2. 원전진출 전략

- 중동·북아프리카 원전도입에 대한 여건 분석
  - 전력수급전망 분석
  - 가스수급전망: 셰일가스의 등장
  - 신재생 에너지 개발 영향 분석
  - GCC 전력망 구축의 영향

- 폐로사업진출전략
  - 전 세계 원전 폐로 사업은 향후 50년 간 300조원 가량의 거대 시장 형성 전망
  - 원전 해체 기술은 미국, 영국 및 독일 등 일부 국가만이 보유 중
  - 국내에서는 아직 원전해체 경험이 없으며 연구용 원전 2기 해체 경험 보유
  - 단기: 영국 원전해체전문회사 AMEC과 조인트 벤처 형태로 시장 진출 및 경험 학습
  - 장기: 독자기술 개발 및 해외폐로시장 독자 진출