

III

연구논단

- **Chemical Bath Deposition 방법을 이용한 CIGS 태양전지 Zn(S,O,OH) 버퍼층 제조법 및 후열처리 효과** 86
박기순 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정
- **암모니아 기반 수소제조 시스템** 92
차준영 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정
- **브라질과 인도네시아의 바이오에너지 정책이행 시기와 효율의 차이** 100
권영만 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정
- **중국 환경 시장 진출 지원 정책에 대한 연구: 三廢분야의 국내 중소기업 진출을 중심으로** ... 112
위강순 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정
- **AHP 기법을 적용한 스마트그리드 기술사업화 촉진요인 간 중요도 분석** 128
이준성 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정

Ⅲ. 연구논단



Chemical Bath Deposition 방법을 이용한 CIGS 태양전지 Zn(S,O,OH) 버퍼층 제조법 및 후열처리 효과

박기순 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정

Chemical bath deposition of Zn(S,O,OH) buffer layers for CIGS solar cell applications and their post-annealing effect

Gisoon Park | Ph.D. Candidate, Green School, Korea University

초록

CdS 버퍼층의 Cd 독성 문제 및 단파장대의 광흡수 손실 문제를 개선하기 위해 Cd-free 대체 버퍼층 중 하나인 Zn(S,O,OH) 박막의 Chemical Bath Deposition(CBD) 반응시간에 따른 광학적, 물리적, 화학적, 형태적 특성의 변화를 분석하였다. Zn(S,O,OH) 박막 적층 실험 결과, 반응 시간이 5분에서 40분으로 길어짐에 따라 박막의 두께가 25nm에서 120nm로 증가하는 경향을 확인하였다. 특히 5분 동안 CBD된 Zn(S,O,OH) 박막의 경우, CIGS 의 표면을 잘 덮고 있으며 두께가 약 25 nm로 얇아 CIGS 태양전지에 적용하기에 더 적합한 CBD 조건임을 확인하였다. 또한 X-ray spectroscopy(XPS)를 이용한 조성 분석 결과, CIGS 태양전지의 light soaking effect를 야기하는 Zn-OH 결합이 다량 존재함을 알아내었고 이를 제거하기 위한 후열처리(post-annealing) 실험을 진행하였다. CBD 된 Zn(S,O,OH) 박막을 H₂S 가스 분위기에서 후열처리 한 결과 Zn-OH 및 Zn-O 결합을 모두 Zn-S 결합으로 치환하였고, 이러한 후열처리 기법을 통해 CIGS 태양전지의 light soaking effect를 최소화 할 수 있음을 확인하였다.

주제어: CBD, Zn(S,O,OH), CIGS, solar cell, post-annealing

I. 서론

Cu(In,Ga)(S,Se)₂(CIGS) 박막 태양전지는 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 가장 유망한 태양전지 중 하나로 현재까지 많은 연구가 진행되어 왔다.^{1,5} Chalcopyrite계 CIGS 흡수층은 높은 광흡수계수 (10⁴-10⁵cm⁻¹)를 가지기 때문에, 1~2 μm의 두께로도 태양전지에 조사되는 대부분의 빛을 효율적으로 흡수할 수 있다.^{1,5} 또한 Ga/(In+Ga), S/(S+Se) 조성비의 조절을 통해 광학적 밴드갭(band-gap)을 약 1.0 eV 부터 2.4 eV까지 변화시킬 수 있어 밴드갭 엔지니어링(band-gap engineering) 기술의 구현에 매우 용이한 물질이며^{2,6}, 탠덤(tandem) 태양전지에도 쉽게 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

일반적인 CIGS 박막 태양전지의 구조에서는 Chemical Bath Deposition(CBD) 방법으로 적층된 CdS

가 버퍼층(buffer layer)으로 사용되어 왔다. CdS는 CIGS와 i-ZnO간의 부적합한 접합 구조의 단점을 보완하여 CIGS 태양전지의 효율을 향상시켜주는 역할을 한다.⁷ 하지만, CdS는 다른 층들에 비해 작은 밴드갭(2.4 eV)을 가지기 때문에 단파장 영역대의 빛을 흡수하여 CIGS 태양전지의 광손실을 야기한다는 단점이 있다.^{8,9} 또한 CdS는Cd의 독성 문제로 인해 상업화에 한계점이 있으며 환경적, 사회적으로 안정성에 대한 문제 제기가 이루어지고 있다.

이와 같은 CdS 버퍼층의 문제점을 해결하기 위해 Zn(S,O,OH), ZnSe, ZnMgO, In₂S₃와 같은 대체 버퍼층에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.⁸⁻¹⁰ 그 중 Zn(S,O,OH) 버퍼층은 O와 S의 비율에 따라 광학적 밴드갭이 약 2.5 eV에서 3.6 eV까지 조절이 가능하기 때문에¹¹ 버퍼층으로 인한 단파장대 손실을 최소화할 수 있으며, 독성이 없고 가격이 저렴한 Zn를 사용한다는 점에서 큰 이점이 있다.

본 연구에서는 CIGS 박막태양전지에 적합한 대체 버퍼층 중 하나인 Zn(S,O,OH) 버퍼층을 CBD 공정을 기반으로 하여 CBD 반응 시간이 Zn(S,O,OH) 버퍼층의 화학적, 광학적, 형상학적 특성 변화에 미치는 영향에 대해 알아보기 위한 실험을 진행하였다. 또한 후열처리(post-annealing)에 따른 Zn(S,O,OH) 박막의 조성 변화를 고찰하였다.

II. 실험 방법

CBD 공정을 이용하여 Zn(S,O,OH) 박막을 적층하기 위해 다음과 같은 방법으로 실험을 진행하였다. 먼저 증류수 100 mL와 암모니아수(28,0-30,0%) 100mL를 비커에 넣고 섞은 후, 0.1M의 ZnSO₄ · 7H₂O를 첨가하여 완전히 용해될 때까지 교반하였다. 그 후 thermocouple을 설치하고 가열을 통해 온도를 70℃까지 상승시킨 후, 0.6M의SC(NH₂)₂를 비커에 넣음과 동시에 Zn(S,O,OH)박막을 적층할 기판(soda-lime glass(SLG) 또는 CIGS/Mo/SLG)을 담가 반응을 시작하였으며, 반응 시간은 5, 10, 15, 20, 40 분으로 실험을 진행하였다. 적층된 Zn(S,O,OH) 박막의 광학적 투과도를 알아보기 위해, UV-vis-NIR spectroscopy를 활용하였다. 또한 적층된 박막의 정확한 두께를 관찰하기 위해 고배율에 적합한 NOVA-SEM을 활용하였고, XPS 분석법을 통해 박막의 표면 조성을 확인하였다. 또한 공기 분위기와 H₂S(1%/N₂)분위기에서 추가적인 열처리를 진행하였고 박막의 조성 변화에 대해 고찰하였다.

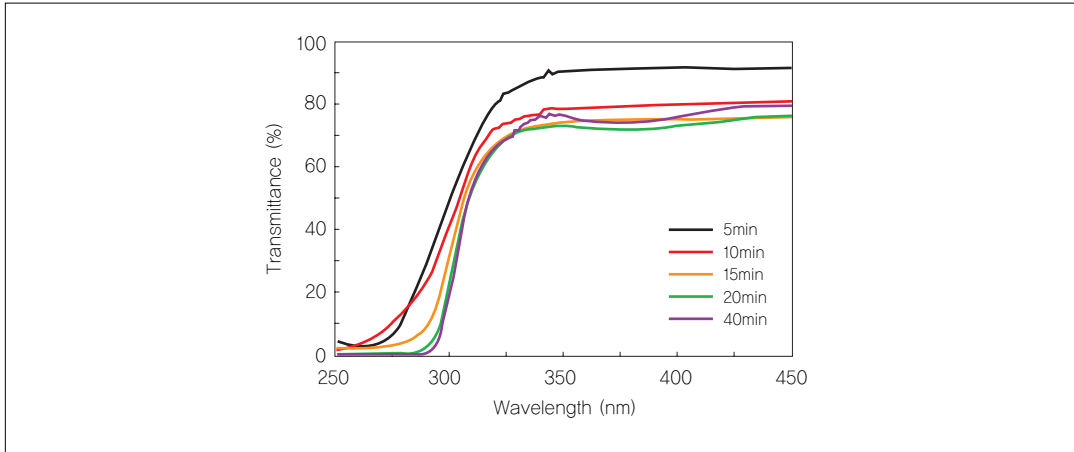
III. 실험 결과 및 고찰

CBD 공정 시간이 Zn(S,O,OH) 박막의 광학적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 SLG 기판 위에 샘플을 준비한 후, 아래 [그림 1]과 같이 UV-vis-NIR spectroscopy를 통해 투과도(transmittance, %)를 측정하였다. 박막 적층 시간이 길어질수록 전반적으로 투과도가 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 이

Ⅲ. 연구논단

러한 결과는 적층 시간이 길어짐에 따라 박막의 두께도 증가하여 더 많은 빛을 흡수하기 때문이다. 또한 Zn(S,O,OH) 박막이 약 300-350 nm 파장대에서 빛을 흡수하는 것으로 보아 기존에 보고된 Zn(S,O,OH) 박막의 밴드갭 특성과 유사함을 확인할 수 있다.

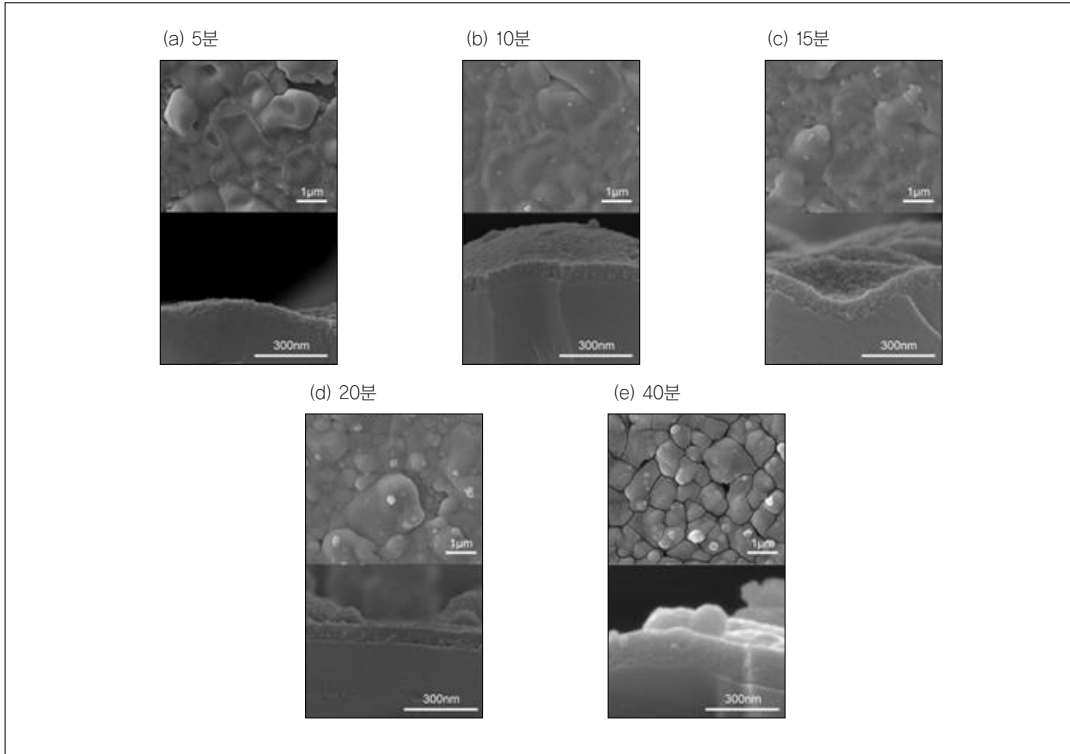
[그림 1] CBD 공정 반응 시간에 따른 Zn(S,O,OH) 박막의 투과도(%)



정확한 Zn(S,O,OH) 박막의 두께 및 형태를 파악하기 위해 SEM 분석을 진행하였다. [그림 2]에서와 같이 CBD 시간이 5, 10, 15, 20, 40분으로 증가함에 따라 Zn(S,O,OH) 박막의 두께가 약 25, 40, 55, 65, 120 nm로 점차 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. 특히 표면 형태의 경우 반응 시간 20분까지는 큰 문제없이 평평한 박막의 형태를 띠고 있지만 반응 시간 40분의 Zn(S,O,OH) 박막은 심한 갈라짐(crack) 현상이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 박막의 갈라짐은 40분 이상 반응을 진행하여도 동일하게 발생하였고, 박막의 두께가 두꺼워지면서 Zn(S,O,OH) 박막 내부에 누적된 스트레스에 기인하는 것으로 볼 수 있다. Zn(S,O,OH) 박막이 CIGS 태양전지 내에서 효율적으로 작동하기 위해 CIGS 표면을 완전히 덮어 병렬 저항으로 인한 손실을 줄이고, 접합을 통해 최적화된 밴드 구조를 구현하고, 두께를 줄여 직렬 저항 성분을 최소화 해야 한다. 본 실험의 CBD 반응 시간 5분의 Zn(S,O,OH) 박막의 경우 CIGS 흡수층 박막을 잘 덮고 있고 약 25 nm의 얇은 두께를 가지고 있기 때문에 다른 샘플들보다 CIGS 태양전지에 더 적합한 박막이라고 할 수 있으며, 추가적인 분석은 이 박막을 중심으로 진행하였다.

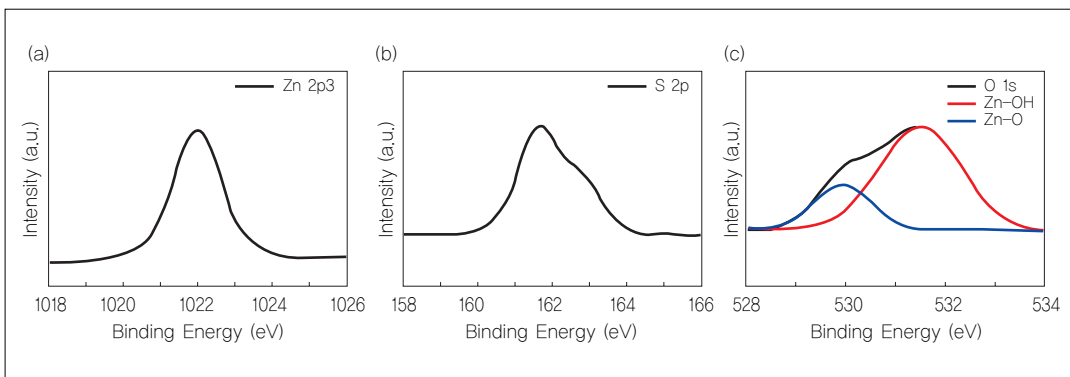
CBD 공정법을 통해 적층된 Zn(S,O,OH) 박막의 조성을 알아보기 위해 XPS 표면 분석을 진행하였다. [그림 3]에서와 같이 Zn 2p₃ (1021.95 eV), S 2p (161.7 eV), O 1s peak을 통해 각각의 원소가 모두 존재함을 확인할 수 있었다. O 1s peak의 경우 큰 shoulder peak이 확인되었기 때문에, Zn-O (530 eV) 결합과 Zn-OH (531.4 eV) 결합으로 나누어 분석하였다. 각각의 원소에 대한 정량 분석을 진행한 결과, 5분간 CBD 반응한 Zn(S,O,OH) 박막은 Zn-S 결합 65.9%, Zn-O 결합 7.8%, Zn-OH 결합 26.3%로 구성되어 있음을 확인할 수 있었다. 기존 보고에 따르면, Zn-OH 결합은 완성된 태양전지가 빛의 조사에 의

[그림 2] Zn(S₂O₃)₂·nH₂O 박막의 표면과 단면 SEM 이미지



해 물성이 변화하는 light soaking effect를 야기한다고 알려져 있다.^{8, 12, 13} 이러한 light soaking effect는 태양전지의 내구성 및 지속적 성능 발현에 문제가 되기 때문에 Zn-OH 결합을 제거하기 위한 추가적인 공정이 필요하다.

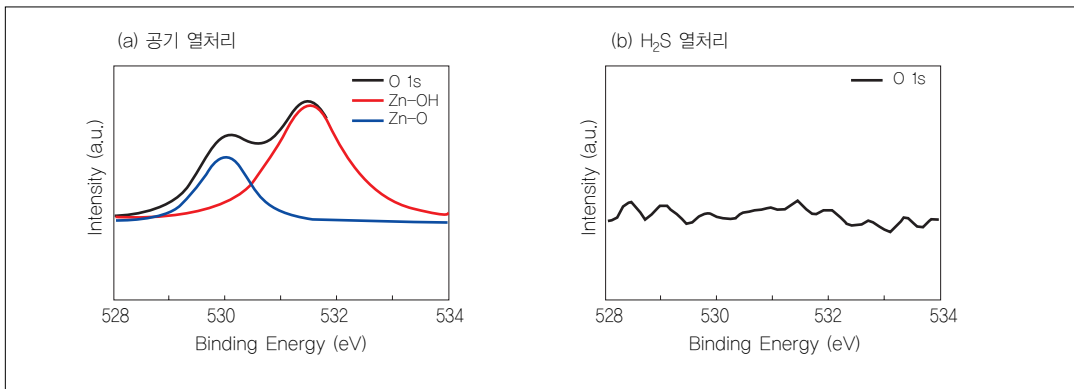
[그림 3] 5분동안 CBD된 Zn(S, O, OH) 박막의 XPS 조성 분석 결과



Ⅲ. 연구논단

이를 위해 본 연구에서는 Zn(S,O,OH) 박막을 CBD 공정으로 제조 후, 공기(air) 또는 H₂S 가스 분위기 상태에서 추가적으로 열처리(200°C, 10분)를 진행하였고 조성의 변화를 확인하였다. 그 결과, [그림 4]에서와 같이 각각의 열처리법에 따라 O 1s peak이 변화하는 것을 알 수 있었다. [그림 4 (a)]의 결과에 따르면, 공기 분위기에서 열처리한 경우 Zn-S 결합 67.6%, Zn-O 결합 10.6%, Zn-OH 결합 21.8%로 열처리 전에 비해 Zn-O 결합의 비율이 증가하고 Zn-OH 결합의 비율은 감소하였지만, light soaking effect를 확실하게 제거하기엔 부족한 변화임을 확인할 수 있었다. 반면 H₂S 분위기에서 열처리한 Zn(S,O,OH) 박막의 경우, [그림 4 (b)]에서와 같이 O peak이 거의 나오지 않는 것을 알 수 있다. 이는 H₂S 분위기 열처리를 통해 Zn(S,O,OH) 박막의 Zn-O 및 Zn-OH 결합이 Zn-S으로 거의 대부분 치환되었음을 의미한다. 그러므로, CIGS 태양전지에 불필요한 light soaking effect를 유발하는 Zn-OH 결합은 H₂S 추가 열처리를 통해 효율적으로 제거 가능하며, 이는 안정적인 Zn(S,O,OH) 버퍼층 기반의 CIGS 태양전지 구현에 큰 도움을 줄 것으로 볼 수 있다.

[그림 4] 200°C에서 10분간 후열처리가 진행된 CBD Zn(S, O, OH) 박막의 XPS O 1s peak 분석 결과



Ⅳ. 결론

본 연구에서는 CdS를 대체할 Cd-free 버퍼층 중 하나인 Zn(S,O,OH) 박막의 CBD 반응시간에 따른 광학적, 물리적, 화학적, 형태적 특성의 변화를 분석하였다. CBD를 이용한 Zn(S,O,OH) 박막의 적층 실험 결과, 반응 시간이 길어짐에 따라 박막의 두께가 지속적으로 증가하는 경향을 확인하였다. 그 중 반응시간 5분의 Zn(S,O,OH) 박막의 경우, CIGS 표면을 완전히 덮고 있으며 두께가 약 25 nm로 얇다는 사실을 통해 CIGS 태양전지에 적용하기에 적합한 적층 조건을 찾을 수 있었다. 또한 조성 분석 결과 많은 양의 Zn-OH 결합이 발견되었는데, 이는 CIGS 태양전지의 light soaking effect를 야기하기 때문에 불필요한 결합이라고 할 수 있다. 이를 제거하기 위해 본 연구에서는 적층된 Zn(S,O,OH) 박

막을 H₂S 분위기에서 후열처리 하였으며, 그 결과 Zn-OH 및 Zn-O 결합을 모두 Zn-S 결합으로 치환하여 CIGS 태양전지의 light soaking effect를 최소화 할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

Todorov, Teodor K., Oki Gunawan., Tayfun Gokmen, and David B. Mitzi. 2013. "Solution-processed Cu(In,Ga)(S,Se)₂ absorber yielding a 15.2% efficient solar cell." *Prog. Photovoltaics*, 21: 82-87.

Park, Se Jin., Hyo Sang Jeon., Jin Woo Cho., Yun Jeong Hwang., Kyung Su Park., Hyeong Seop Shim., Jae Kyu Song., Yuna Cho., Dong-Wook Kim., Jihyun Kim., and Byoung Koun Min. 2015. "Chalcogenization-Derived Band Gap Grading in Solution-Processed CuIn_xGa_{1-x}(Se,S)₂ Thin-Film Solar Cells." *ACS Appl. Mater. Inter.* 7:27391-27396.

Jackson, Philip., Dimitrios Hariskos., Roland Wuerz., Oliver Kiowski., Andreas Bauer., Theresa Magorian Friedlmeier., and Michael Powalla. 2015. "Properties of Cu(In,Ga)Se₂ solar cells with new record efficiencies up to 21.7%." *Phys. Status Solidi-R*, 9:28-31.

Jackson, Philip., Roland Wuerz., Dimitrios Hariskos., Erwin Lotter., Wolfram Witte., and Michael Powalla. 2016. "Effects of heavy alkali elements in Cu(In,Ga)Se₂ solar cells with efficiencies up to 22.6%." *physica status solidi (RRL) - Rapid Research Letters*, 10: 583-586.

Zhang, Ting., Yixing Yang., Deang Liu., Shing Chi Tse., Weiran Cao., Zongbao Feng., Song Cehn, and Lei Qian. 2016. "High efficiency solution-processed thin-film Cu(In,Ga)(Se,S)₂ solar cells." *Energy & Environmental Science*, 9: 3674-3681.

Gloeckler, Markus., and James, R. Sites. 2005. "Band-gap grading in Cu(In,Ga)Se₂ solar cells." *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 66: 1891-1894.

Rau, Uwe., and Marion Schmidt. 2001. "Electronic properties of ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂ solar cells - aspects of heterojunction formation." *Thin Solid Films*, 387: 141-146.

Nakada, Tokio., Masayuki Mizutani., Y. Hagiwara., and Akio Kunioka. 2001. "High-efficiency Cu(In,Ga)Se₂ thin-film solar cells with a CBD-ZnS buffer layer." *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 67: 255-260.

Nakada, Tokio., and Masayuki Mizutani. 2002. "18% Efficiency Cd-Free Cu(In, Ga)Se₂ Thin-Film Solar Cells Fabricated Using Chemical Bath Deposition(CBD)-ZnS Buffer Layers." *Japanese Journal of Applied Physics*, 41: L165.

Verma, Rajneesh., Debjot Datta., Adrian Chirila., Dominik Guttler., Julian Perrenoud., Fabian Pianezz., Ulrich Muller., Satyendra Kumar., and Ayodhya N. Tiwari. 2010. "Optical, structural, and chemical properties of flash evaporated In₂S₃ buffer layer for Cu(In, Ga)Se₂ solar cells." *J. Appl. Phys.*108.

Meyer, B. K., Angelika Polity., B. Farangis., Yunbin He., D. Hasselkamp., T. Kramer., and C. Wang. 2004. "Structural properties and bandgap bowing of ZnO_{1-x}S_x thin films deposited by reactive sputtering." *Applied Physics Letters*, 85: 4929-4931.

Kobayashi, Taizo., Hiroshi Yamaguchi., and Tokio Nakada. 2014. "Effects of combined heat and light soaking on device performance of Cu(In,Ga)Se₂ solar cells with ZnS(O,OH) buffer layer." *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 22: 115-121.

Shin, Dong Hyeop., Ji Hye Kim., Seung Tae Kim., Liudmila Larina., Essam A. Al-Ammar., and Byung Tae Ahn. 2013. "Growth of a High-quality Zn(S,O,OH) thin film via chemical bath deposition for Cd-free Cu(In,Ga)Se₂ solar cells." *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 116: 76-82.

I. 권무칼럼

II. 연구성과

III. 연구논단

IV. 특집

V. 국내외 정책 · 기술 동향

VI. 그린스쿨 주요 활동 및 일정

III. 연구논단



암모니아 기반 수소제조 시스템

차 준 영 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정

Ammonia based hydrogen production system

Junyoung Cha | M.A. Candidate, Green School, Korea University

초록

제 21차 유엔기후변화당사국 총회 채택에 따라 참여 당사국들은 지구온난화를 억제하기 위해 지구의 기온 상승을 2°C미만으로 억제하기로 뜻을 모았다. 많은 전문가들은 협약을 이행하기 위해서는 재생에너지 기반 시스템의 확대가 핵심요소가 될 것으로 예상하고 있다. 하지만 재생에너지 기반 시스템의 확대를 위해서는 대규모 장기간 에너지 저장 시스템을 통해 전력공급의 안정성을 유지해 주어야 한다. 때문에 본 연구에서는 수소에너지 저장방법으로 화학적 수소저장 물질인 암모니아의 탈수소화 특성 (촉매, 반응온도, 가스공간속도)을 연구해 보았다. 더 나아가 암모니아 탈수소화 및 생성가스 정제 과정을 시스템화 하여 400L 의 수소를 90분간 지속적으로 생산하고 정제하여 보았다. 이를 통하여 암모니아를 통한 수소에너지 저장시스템의 실용화 및 연료전지 등과의 연계 가능성을 확인해 볼 수 있었다.

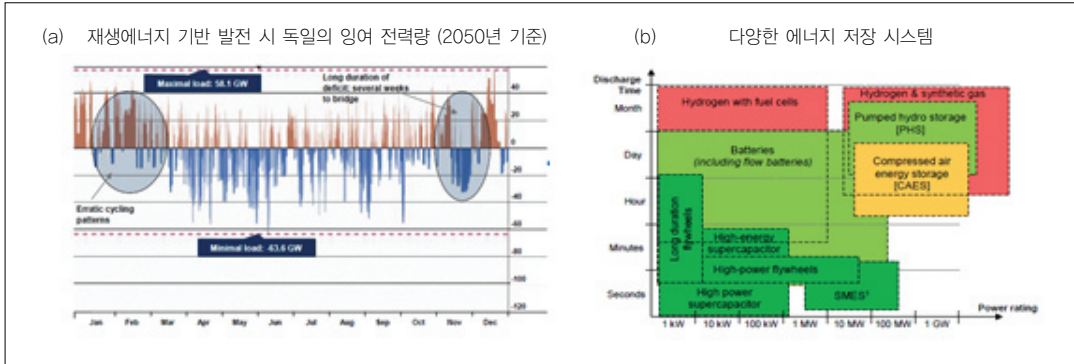
주제어: 지구온난화, 재생에너지 기반 시스템, 에너지 저장, 수소저장 물질, 암모니아 탈수소화, 연료전지

I. 서론

현재 화석연료 기반의 에너지사회에서 가장 큰 문제점은 지구온난화 문제이다. 이를 해결하기 위해서는 에너지효율 향상, 이산화탄소 포집 및 활용, 재생에너지 기반 시스템으로의 전환 등을 통한 온실가스 감축이 필수적인데, 많은 전문가들이 2100년까지 지구의 기온 상승을 2°C미만으로 억제하기 위해서는 재생에너지 기반 시스템의 확대가 핵심요소가 될 것으로 예상하고 있다. 그러나 재생에너지 보급이 늘어날 경우 발전의 변동성에 의해 전력공급의 안정성이 떨어지는 문제점을 가지게 된다. 즉, 온실가스배출이 적은 재생에너지를 확대함과 동시에 그 발전의 변동성을 적절히 조절해서 전력공급의 안정성을 유지하는 것이 온실가스 감축을 위한 핵심사항이 되는 것이다. 현재 재생에너지 시스템의 발전 변동성을 조절하기 위한 방안으로 양수발전, 압축공기저장, 배터리, 수소 등 다양한 에너지 저장시스템이 고려되고 있으며, 최근 들어 대용량으로 장시간 안정적인 에너지 저장이 가능한 수소에너지 저장방법이 관심을 끌고 있다. [그림 1]

수소에너지 저장방법은 크게 물리적 저장방법과 화학적 저장방법으로 나눌 수 있다. 물리적 저

[그림 1]



출처: SBC Energy Institute February 2014, p. 35-36.

장방법의 경우 압축수소, 액화수소 등이 있고 화학적 수소저장의 경우 톨루엔, 개미산, 메탄올, 암모니아 등 매우 다양한 화합물을 통하여 수소를 저장할 수 있다. 다양한 수소저장 방법 중 암모니아의 경우 대용량의 수소저장이 가능하고 물질대비 높은 수소함량(17.7wt%)을 가지고 있다. 또한 Haber-보슈공정(Haber-Bosch Process)을 통해 수소를 효율적으로 전환 시킬 수 있으며 이미 저장 및 운송에 관한 사회기반 시설이 갖추어져 있다. 이러한 이유로 암모니아는 매우 유망한 수소 저장물질로 많은 연구가 이루어지고 있으며 특히 에너지 회수(암모니아 탈수소화)에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 하지만 현재 대부분의 암모니아 탈수소화 연구는 소량의 분말형태 촉매(0.01g ~ 0.2g)에 관해서만 이루어지고 있으며, 대용량 촉매 및 반응기에 대한 연구가 부족하다. 때문에 본 연구에서는 과거 연구한 암모니아 분말형태 촉매를 기반으로 이를 펠릿화 시키고 대용량 반응기를 제작하여 4.5L/min 수소를 지속적으로 생산해 보았으며, 이후 간단한 후처리 공정(흡착탑)을 통해 순수한 질소와 수소를 얻음으로써 연료전지와 연계 가능성을 확인해 보았다.

II. 실험

1. 촉매

촉매는 과거 암모니아 탈수소화 반응 촉매로 연구하였던 Ru-LaAl₂O₃ 분말형 촉매를 토대로 하였다. 상용 γ -alumina 1/8 pellet 에 La(NO₃)₃ · 6H₂O 전구체를 함침법으로 도핑 한 후 전기로에서 900°C, 5h 소성시켜 La₂O-Al₂O₃ 지지체를 제조하고, 루테늄 활성점을 이 지지체에 고정함으로써 원하는 촉매를 합성하였다. 이후 루테늄 함량이 각기 다른 20g의 Ru/La-Al₂O₃ 펠릿 촉매를 직경 30mm 길이 350mm의 이중관 반응기에 채우고 순수한 암모니아 가스 1667 mL/min, 3333 mL/min를 흘려준 후 각

Ⅲ. 연구논단

기 다른 온도(550°C, 600°C, 650°C)에서 생성가스 중 미 반응 암모니아 농도를 측정하여 유량과 온도에 따른 전환율 및 촉매의 활성도를 측정하였다.

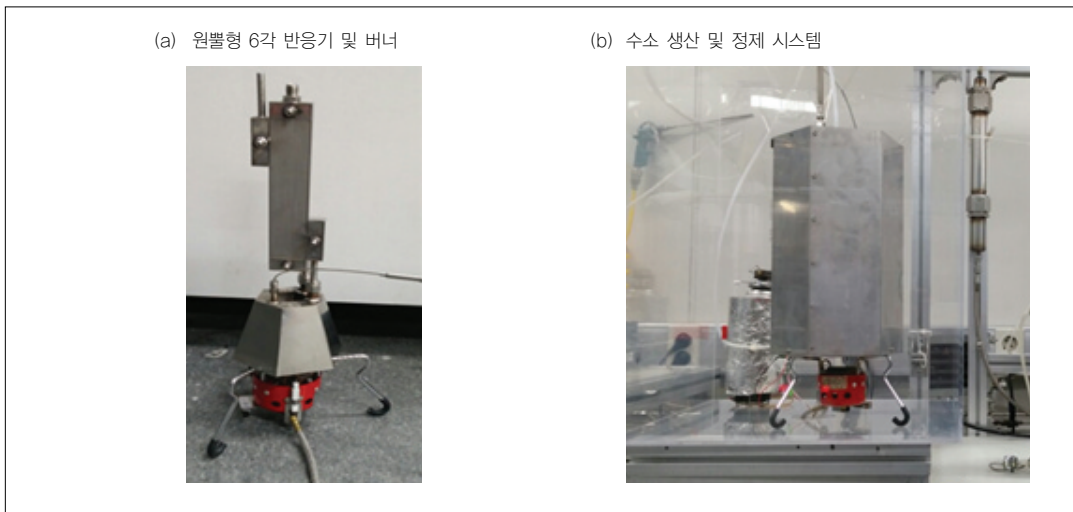
2. 흡착제

미 반응 암모니아의 흡착제로는 CaCl₂ 및 MgCl₂ 5wt%, 10wt%를 다공성지지체인 γ -alumina 펠릿에 고르게 분산시켜 제작하였으며, (주)원익머트리얼즈에서 제공한 암모니아 제거를 위해 특수처리한 zeolite를 받아 함께 평가하였다. 흡착제의 성능을 평가하기 위해 흡착제 8g에 10,700 ppm의 암모니아 표준가스를 2 L/min 속도로 공급하며 암모니아 분석기를 통해 실시간으로 흡착제를 통과하여 나온 암모니아 농도를 측정하였다.

3. 반응기 및 흡착탑

위 실험들을 바탕으로 [그림 2와 같이 187g의 촉매가 채워진 원뿔형 6각 반응기를 제조하였으며, 총 120g의 흡착제가 들어가는 원기둥 형태의 흡착탑을 보온된 반응기와 연결시켰다. 제작된 반응기 온도를 550°C로 유지하면서 mass flow meter를 통해 순수한 암모니아를 3 L/min 흘려주어 수소 4.45 L/min을 지속적으로 생산하였다. 그리고 동일한 반응조건에서 생성가스를 흡착탑을 통과시킨 후 생성가스의 농도를 측정하여 1 ppm 이하로 지속가능한 시간을 측정하였다.

[그림 2]

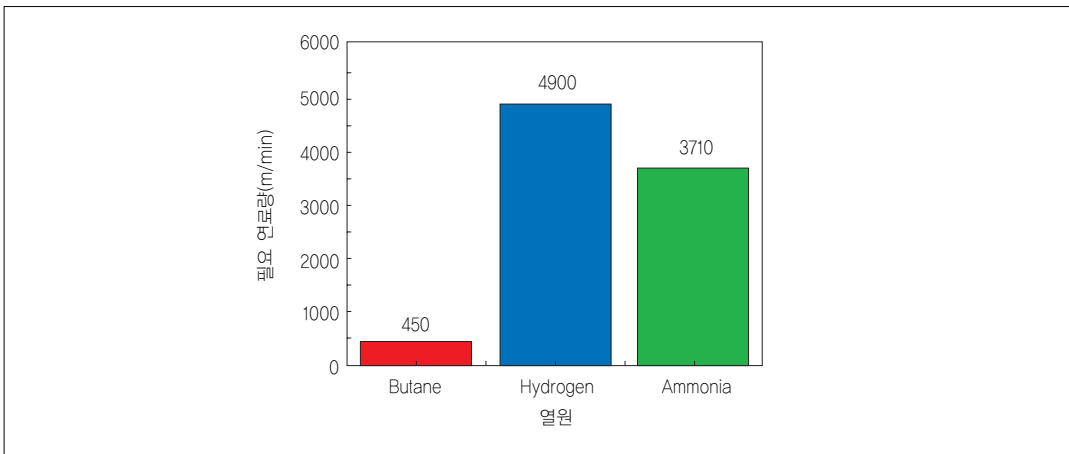


III. 결과 및 고찰

1. 열원

암모니아 탈수소화 반응은 흡열반응으로 1 mol의 암모니아를 탈수소화 하기 위해서는 46kJ이 필요하다. ($\text{NH}_3 \rightarrow 1/2\text{N}_2 + 3/2\text{H}_2$, $\Delta H = +46\text{kJ/mol}$). 열원으로는 부탄, 암모니아, 수소가 고려되었으며, 순수한 암모니아를 3 L/min 속도로 지속적으로 탈수소화하기 위한 연료별 필요공급량은 아래 [그림 3]과 같다. 반응에 필요한 에너지 공급에 있어 부피 대비 효율이 가장 뛰어난 부탄을 일차적으로 열원으로 선정하였다.

[그림 3] 필요한 열원의 공급량



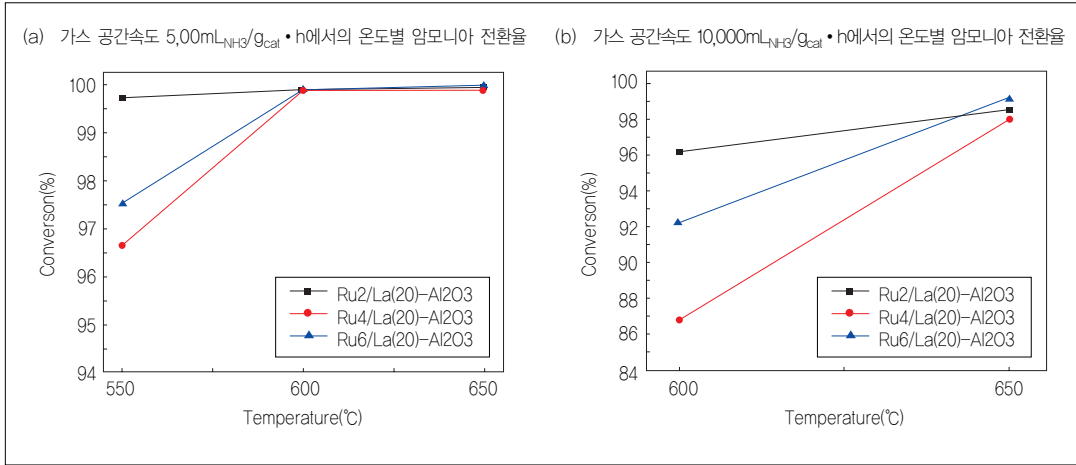
2. 촉매 및 반응조건

반응조건에는 촉매의 종류, 반응온도, 가스 공간속도 등이 포함된다. 촉매의 경우 낮은 루테튬 함량을 가지고 낮은 온도 및 반응가스의 높은 공간속도에서 고효성을 유지할 수 있는 촉매가 가장 이상적인 후보군이다. Ru(x)/La(20)Al2O3 촉매는 [그림 4]와 같이 Ru의 함량에 따라 동일한 반응조건에서 각기 다른 활성도를 보여 주었다.

[그림 4]에서 보듯이 다양한 조건에서 암모니아 분해반응을 실험한 결과, 550°C, 가스 공간속도 5,000 mL_{NH₃}/g_{cat} · h에서는 모든 촉매들이 에서 95% 이상의 암모니아 전환율을 보였으며, 600°C 이상에서는 99% 이상의 전환율을 보였다. 그러나 가스 공간속도 10,000 mL_{NH₃}/g_{cat} · h에서는 모든 촉매가 550°C에서 낮은 활성을 보였으며, 600°C에서는 Ru(2.0wt%)/La(20)-Al2O3 촉매는 96% 이상의 높은 전환율을 보인 반면 다른 촉매는 93% 이하의 전환율을 보여주었다. 상기 결과들을 바탕으로 시스템 무게와 부피 및 에너지 효율 면에서 최적의 조건을 일차적으로 선정한 결과 촉매, 반응온도 및 공간

Ⅲ. 연구논단

[그림 4] 필요한 열원의 공급량

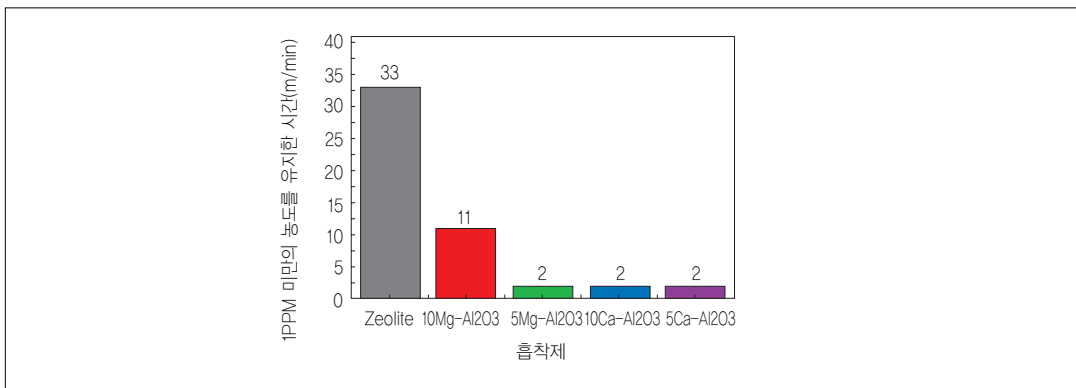


속도는 Ru(2.0wt%)/La₂O₃-Al₂O₃, 550°C, 및 5,000mL-NH₃/g_{cat}·h이며, 이를 고려하여 반응기를 설계하고 전체적인 시스템을 구성하였다.

3. 흡착제

암모니아의 탈수소화 반응 후 배출되는 가스에는 미 반응된 잔여 암모니아가 소량 포함되어 있을 수 있는데, 미량의 잔여 암모니아가 연료전지로 공급되는 경우 막에 분산되어 있는 백금계열의 촉매에 심각한 손상을 줄 수 있다. 이러한 이유로 암모니아 탈수소화반응 후 순수한 수소 및 질소만 연료전지에 공급될 수 있도록 미반응 암모니아를 제거해 줄 적절한 흡착제가 필요하다. 흡착제의 평가 결과는 [그림 5]와 같다.

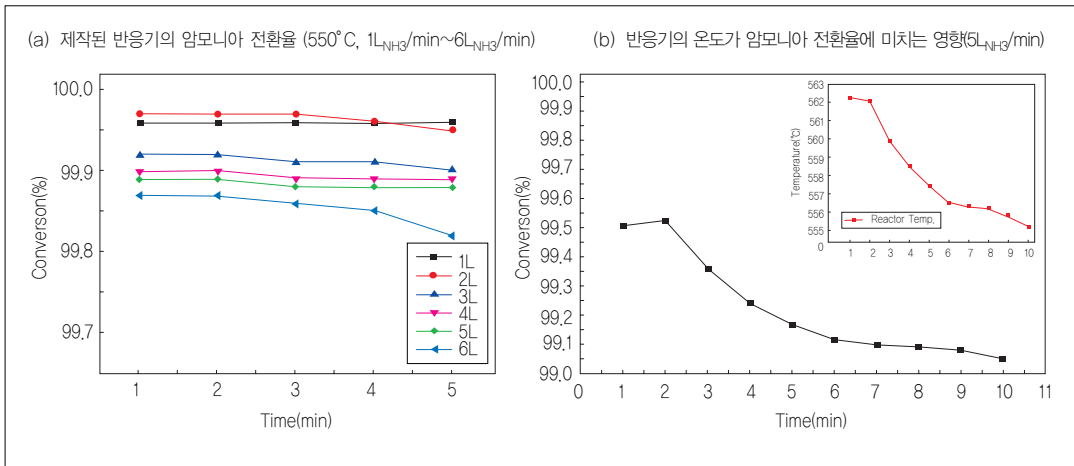
[그림 5] 다양한 흡착제의 암모니아 제거 성능 평가 결과



실험 결과 (주)원익머트리얼즈가 제공한 특수처리 한 제올라이트가 실험한 반응조건에서 33분 간 암모니아를 배출하지 않음으로써 가장 우수한 성능을 보여주었다. 이를 바탕으로 3 L_{NH3}/min의 암모니아를 탈수소화 할 경우 22.3g/h 제올라이트가 필요할 것으로 예측되었다(암모니아 전환율 99%, 반응조건 25℃, 1atm 기준).

시스템의 여유율 및 온도 변동에 따른 순간적인 효율저하 등을 고려하여 187g의 촉매가 채워진 원뿔형 12각 반응기를 제작하였다. 제작된 반응기의 성능실험 결과 550℃에서 3 L_{NH3}/min~6 L/min 속도로 암모니아가 흐를 때 99.5% 이상의 암모니아 전환율을 보여주었으나 작은 열교환 면적으로 인하여 4 L/min 이상의 암모니아가 흐를 때 반응기 온도를 550℃로 유지할 수 없었다. [그림 6]

[그림 6]



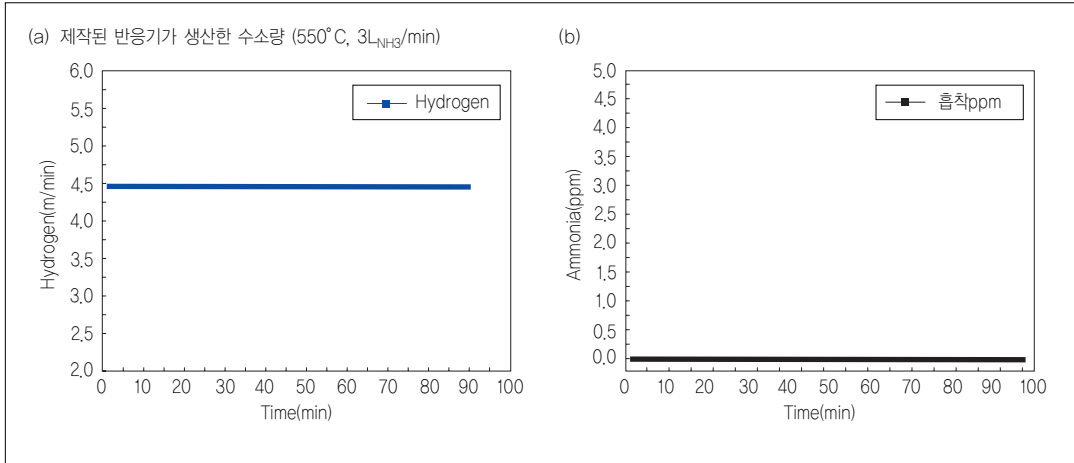
550℃로 반응기 온도를 유지하면서 지속적으로 수소생산이 가능한 3 L_{NH3}/min을 기준으로 실험한 결과 수소생산량은 평균 4.45 L/min이고, 총 수소생산량은 400.5 L이었다. 생산된 수소는 LHV기준 3960 KJ 에너지를 낼 수 있다. [그림 7]

연료전지 등과의 연계가능성을 확인하기 위해서는 생성가스의 암모니아 농도가 1ppm이하로 유지할 수 있는 시간이 중요한 요소가 된다. 원뿔형 6각 반응기 성능실험과 동일한 반응조건에서 흡착제를 거친 생성가스를 암모니아 분석기로 실시간 분석한 결과 [그림 7과 같이 0ppm이 90분 동안 유지되는 것을 확인 할 수 있었다. 즉, 흡착제라는 간단한 후처리 공정만으로도 미 반응 암모니아의 효율적인 제거가 가능하며 순수한 수소 및 질소를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다. [그림 7]

최종적으로 제작한 시스템의 수소저장용량을 계산한 결과 아래의 [표 1]과 같이 시스템 무게대비 4.02%의 수소를 저장할 수 있음을 확인하였다(암모니아 전환율 99%, 9L 암모니아 저장용기 사용).

Ⅲ. 연구논단

[그림 7]



[표 1] 암모니아 기반 수소 생산시스템의 수소저장용량

품명	무게
Mass Flow Controller (Iso-Butane, NH ₃)	1.3kg
반응기 및 열교환기, 단열재	2.5kg
레귤레이터	1.0kg
밸브 & 관 및 기타 부속품	2.5kg
암모니아 및 저장용기	8.4kg
흡착제 및 저장용기	1.2kg
열원 및 저장용기	3.6kg
생산되는 수소 (99% conversion)	0.833kg
시스템 전체무게	20.5kg
시스템 대비 수소저장용량 (wt%)	4.06%

IV. 결론

본 연구에서는 암모니아 기반 수소생산 및 정제 시스템을 제작하여 암모니아를 탈수소화 반응부터 생성가스 정제까지 성공적으로 연계하였다. 제작된 시스템을 통해 생산한 수소량은 약400L이며 이는 9L 암모니아 저장용기와 연동할 경우 시스템대비 4.06wt%의 수소저장능력을 가지게 된다. 이는 현재 미국의 DOE(Department of Energy)에서 제시하는 무게대비 수소저장용량 5.5 wt% 보다 조금 낮다. 하지만 열원을 암모니아로 단일화 하거나 촉매의 성능향상, 경량화 된 저장용기 등을 통해

충분히 DOE 목표를 상회할 수 있을 것으로 전망된다. 이는 암모니아가 가지는 높은 수소함량과 수소와 질소만으로 이루어진 물질이 가지는 간단한 후처리 공정에서 오는 장점으로 생각된다. 또한 흡착과정을 거친 생성 가스는 추가적인 후처리공정이 없이 연료전지와 연계가 가능할 것으로 전망되어 기존의 배터리 기반 시스템보다 많은 에너지를 저장하고 운전할 수 있을 것으로 기대되며, 향후 자동차, 잠수함, 드론 등 다양한 분야에도 적용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

한전경제경영연구원 원동규. 2016. "파리협정 주요내용과 전력부문 이슈." 『KEMRI 전력경제 REVIEW 제2호』 1-6.
 Bell, T. E., and L. Torrente-Murciano. 2016. "H2 Production via Ammonia Decomposition Using Non-Noble Metal Catalysts: A Review." *Topics in Catalysis*. 59(15): 1438-1457.
 Chung, Dan Bi, Hyo Young Kim., Mina Jeon., Dae Hung Lee., Hyun S. Park., Sun Hee Choi., Suk Woo Nam., Seong Chul Jang., Jung-Han Park., Kwan-Young Lee., and Chang Won Yoon. 2016. "Enhanced ammonia dehydrogenation over Ru/La (x)-Al 2 O 3 (x=0-50 mol%): Structural and electronic effects of La doping." *International Journal of Hydrogen Energy*.
 Hunter, Hazel M.A., Joshua W. Makepeace., Thomas J. Wood., O. Simon Mylius., Mark G. Kibble., Jamie B. Muter., Martin O. Jones., and William I.F. David. 2016. "Demonstrating hydrogen production from ammonia using lithium imidePowering a small proton exchange membrane fuel cell." *Journal of Power Sources*. 329(15): 138-147.
 SBC Energy Institute. 2014. "Hydrogen-Based Energy Conversion More than Storage: System Flexibility." *Leading the energy transition Factbook*. 18-36.
 U.S. Department of Energy. 2015. "3.3 Hydrogen storage, 2015." *Multi-Year Research, Development, and Demonstration Plan*. 1-23.

I. 권역별

II. 연구성과

III. 연구논단

IV. 특집

V. 국내외 정책 · 기술 동향

VI. 그린스쿨 주요 활동 및 일정

Ⅲ. 연구논단



브라질과 인도네시아의 바이오에너지 정책이행 시기와 효율의 차이

권영만 | 고려대학교 그린스쿨대학원 석사과정

Difference in bioenergy policy deployment and its efficiency: In the case of Brazil and Indonesia

Youngman Kwoun | M.A. Candidate, Green School, Korea University

초록

2020년 이후 신 기후체제 수립을 위한 195개국 간의 최종 합의문, 파리협정이 채택되었다. 특히 각 지역별 핵심국가의 역할이 그 어느 때보다 중요시되는 가운데, 남미의 브라질과 동남아시아의 인도네시아가 2020년 이후 신 기후체제 수립의 성공에 결정적인 역할을 할 것으로 보인다. 그 중 바이오연료에서 두각을 나타내고 있는 브라질과 인도네시아에 대하여 알아봄으로써, 해당 국가들이 어떠한 바이오에너지 정책을 펼치고 있는지 알아보고자 한다. 특히, 같은 개발도상국임에도 불구하고 브라질과 인도네시아의 바이오에너지 정책 도입시기의 차이가 발생한 근본적인 이유와 비슷한 강도의 바이오에너지 정책에도 불구하고 인도네시아의 정책이행 속도가 더딘 이유에 대해서도 공공정책 발전 과정 분석틀인 “3-i”를 통해 알아보고자 한다. 3-i의 세 가지 요인들로는 이익/이해관계(Interest), 아이디어(Idea), 그리고 제도(Institution)가 있다. 브라질과 인도네시아는 이익과 아이디어, 즉 내부적인 요소 측면에서는 비슷한 특징이 있었으며, 가장 큰 차이점은 제도, 즉 외부적인 요소에서 나타났다. 각국의 제도의 복잡성에 따라 바이오에너지 정책의 발달과 이행에 차이가 있었다.

주제어: 브라질, 인도네시아, 바이오에너지 정책, 신재생에너지 정책, 바이오연료

I. 서론

2015년 12월 12일, 제21차 유엔기후변화협약 (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) 당사국 총회 (COP21)에서 2020년 이후의 신 기후체제 수립을 위한 195개국 간의 최종 합의문인 파리협정이 채택되었다. 이 신 기후체제 협약에서는 선진국, 개발도상국, 빈곤국가 모두가 참여하지만 높은 경제성장을 기반으로 발전중인 개발도상국의 참여가 온실가스 감축 및 2°C 이내 기온상승 억제에 핵심이다. 특히, 개발도상국 중 각 지역별 핵심국가의 역할이 그 어느 때보다 중요시되는 가운데, 광활한 산림자원과 꾸준한 경제성장으로 개발도상국 중 여러 분야에 영향력을 미치는 남미의 브라질과 동남아의 인도네시아가 2020년 이후 신 기후체제 수립의 성공에 결정적인

역할을 할 것으로 보인다.

세계적인 탈화석연료화와 이산화탄소 저감 목표로 인하여 화석연료자원이 상대적으로 풍부한 국가들에서도 재생에너지의 중요성이 부각되고 있으며, 대체 에너지원으로써 가장 현실적인 대안으로 바이오에너지가 주목을 받고 있다. 현재 바이오에너지는 전 세계 1차 에너지 총 소비량의 10% 정도를 차지하고 있으며, 대부분 아직까지는 개발도상국에서 기본 에너지로써 취사 또는 난방용으로 사용되고 있다 (International Energy Agency 2016). 수력과 지열을 제외하고 가장 큰 비중을 차지하고 있는 바이오에너지에 대한 수요, 특히 수송 부문에서의 증가에 따라 세계에서 가장 큰 바이오에너지, 그 중 바이오연료 분야의 선두주자인 전통적 강자 브라질과 야자유를 기반으로한 신흥 강자 인도네시아에 대하여 알아보으로써, 해당 국가들이 어떠한 바이오에너지 정책을 펼치고 있는지 알아보고자 한다. 또한 같은 개발도상국임에도 불구하고 브라질과 인도네시아의 바이오에너지 정책 도입시기의 차이가 발생한 근본적인 이유와 비슷한 바이오에너지 정책을 펼침에도 불구하고 인도네시아의 정책이행 속도가 더딘 이유를 공공정책 발전 과정의 분석틀인 “3i”를 통해 알아보고자 한다.

본 논문의 구성은 제 I장의 서론 및 연구의 목적 명시에 이어, 제 II장에는 사례선정 배경에 대한 서술이 있다. 제 III장에는 분석틀에 대한 소개와 함께 선행연구 분석이 있으며, IV, V장에서 브라질과 인도네시아 국가별 분석이 있으며 VI장에서는 함의를, 마지막으로 제 VII장에서 결론을 맺고 있다.

II. 사례선정

브라질과 인도네시아는 중국, 인도, 미국 다음으로 세계에서 가장 인구가 많은 국가이자 (Central Intelligence Agency), 남미와 동남아시아 각 지역에서 여러 분야에 큰 영향을 끼치는 핵심국가이다. 주요 20개국 모임(Group of 20: G20) 멤버 국가이자 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development: OECD)의 핵심 파트너 국가(key partner countries)로서, 세계적으로도 영향력을 높여가고 있다.

또한 에너지 생산 및 소비 부문에 있어서도 선진국들을 제외하고 세계 20위권에 이름을 올리고 있다. 브라질과 인도네시아 두 나라 모두 산유국임에도 불구하고, 바이오에너지의 발전에 적지 않은 비중을 두고 있으며, 특히 브라질은 사탕수수를 기반으로 하는 바이오에탄올에, 인도네시아는 야자유를 기반으로 하는 바이오디젤에 강세를 보이고 있다. 2014년 연간 생산량 기준 브라질은 바이오디젤과 연료에탄올 생산에서 전 세계 2위에 들었으며, 인도네시아 또한 바이오디젤 생산에 있어서 세계 4위를 차지하였다. 하지만 같은 개발도상국임에도 불구하고 브라질은 세계은행 기준 상-중견국(Upper middle income nation)이지만 (The World Bank 2016a) 인도네시아는 하-중견국(Lower middle income nation)이다 (The World Bank 2016b). 이러한 이유로 개발도상국 내에서도 위와 같은 경제적 지위 차이가 각 국의 바이오에너지 정책의 발전에 차이점을 야기하였는지도 알아 볼 수 있겠

Ⅲ. 연구논단

다. 앞서 말한 이유를 본 논문에서 알아보고자 비슷한 국제적 지위와 특징을 가지고 있는 브라질과 인도네시아를 선정하게 되었다.

Ⅲ. 연구설계

1. 분석틀: 3-i Framework

본 논문의 목적인 브라질과 인도네시아의 바이오에너지 정책의 비교를 위해서 공공정책의 발전 과정을 설명하는 분석틀인 “3i”를 이용하고자 한다. 3i의 세 가지 요인들로는 “행위자의 이익/이해 관계, 아이디어, 그리고 제도 및 기관이 있으며 위 요인들은 공공정책의 발달과 최종 선택에 영향을 준다” (Institut National de Sante Publique du Quebec 2014). 이익과 아이디어의 경우 행위자의 행동과 견해에 직접적으로 연관되어 있으므로 내부적인 요소라 할 수 있으며, 제도의 경우 외부기관에서의 행동 및 의사결정에서 비롯되므로 외부적인 요소라고 할 수 있겠다. 아래에서는 각 개별 요인들의 설명과 함께 브라질과 인도네시아 각 국의 3i를 분석함으로써 어떠한 요인이 각 국의 바이오에너지 정책에 가장 명확한 차이점을 야기하였는지 알아보고자 한다.

첫 번째 i, 이익은 사회 집단, 국회의원, 공무원, 연구원, 정책입안자 등 수많은 행위자들의 실질적인 또는 지각(知覺)된 이익 실현 욕구가 있기 때문에, 그들이 정책 결정에 영향을 끼친다 (Peters 2002, 553; Pomey et al. 2010, 709)고 보고 있다. 바이오에너지 뿐만 아니라 모든 에너지정책면에 있어 해당분야와 조금이라도 관련이 있으며, 정책의 발달과 결정에 있어 영향력을 행사할 수 있는 행위자라면 본인의 경제적, 정치적, 사회적 이익을 최대한으로 실현하기 위하여 정책 이슈를 본인이 유리한 가닥으로 이끌어 가려고 노력한다.

두 번째 i, 아이디어는 위 이익에서 정책결정자들의 인식과 깊은 연관성이 있다. 아이디어의 형태로는 경험적 연구를 바탕으로 획득한 지식, 전문가의 견해, 사회적 집단의 경험적 지식 등이 있으며, 이 모든 형태들은 각각의 정책결정자들이 사회문제를 어떻게 정의하고 중요하게 받아들이는가에 영향을 끼친다 (Institut National de Sante Publique du Quebec 2014). 또한 아이디어 내에는 ‘가치성’ 또한 포함이 되어있으므로 정책결정자들이 문제를 정의하고 “각각의 정책 옵션들이 효과적인지, 실현 가능한지, 또는 사회적으로 용인되는지” (Hall 1997)에 대하여 분석한다. 이러한 이유로 정부가 최종적으로 통과시킨 정책들은 정책결정자들 입장에서 가장 지배적인 생각 및 방안들이 투영되었다고 할 수 있다.

마지막 i, 제도는 “정부체제와 각 나라의 정부와 부서 또는 관련 기관과의 관계” (Pomey et al. 2010, 709)를 말한다. 각 국의 정부형태에 따라 정책의 발달과 결정에 영향을 끼칠 수 있는데, 예를 들어 연방국가 형태의 경우 각각의 주(州)정부가 각기 다른 권한과 규정들을 가지고 있으면 정부의 입장에서 단일정부보다 하나의 공통된 정책을 펼치기가 어렵다. 아울러 공식적인 과정 이외의 정

책 네트워크가 이루어지는 정부-기관들끼리의 교류 또한 정책의 발달과 결정에 영향을 미칠 수 있는데 (Rocan, 2012), 각각의 기관들이 가지고 있는 자치권에 따라 행사할 수 있는 영향력 또한 달라진다. 또한 현재의 정부 상황이나 기관의 영향력뿐만 아니라 각 나라의 헌법과 이전 정책들 또한 정책 발전과 채택에 영향을 끼친다 (Institut National de Sante Publique du Quebec 2014).

본 논문은 이익 부분에서는 각 국가를 하나의 행위자로 간주하여, 국가의 정부가 어떠한 국내적 이익 또는 국제관계에서의 이득을 취하기 위하여 바이오에너지 정책을 발전시키고 현재의 정책을 이행해 나가고 있는지 알아보고, 아이디어 부분에서는 각 국의 바이오에너지 정책의 발달과 법률의 제정에 최종적인 결재 권한이 있던 대통령들의 인식을 알아봄으로써 어떠한 아이디어와 의지가 브라질과 인도네시아의 바이오에너지 정책을 이끌어냈는지 알아보려 한다.

2. 선행연구

본 논문에서는 브라질과 인도네시아 두 나라의 바이오에너지 정책, 그 중 특히 바이오연료 정책의 발달과 이행과정에서 어떠한 요소들이 각국의 현재 바이오에너지 정책을 있게 하였는지 비교분석을 실시하였다.

여태까지의 분석들과 브라질, 인도네시아의 바이오에너지 정책에 대한 논문들은 개별적으로 분석들에 대한 설명, 각 국가별 바이오에너지 정책에 대하여 설명하고 있었다. Purdon(2015)은 기후변화 정치에 있어서 비교연구의 중요성과 함께 3i 분석들에 대하여 설명을 하였고, Hochstetler et al.(2015)은 브라질과 중국의 풍력 및 태양광 발전에 있어서 각 국의 이익과 정부-기업 간의 제도를 동일한 분석틀로 살펴보고 있다. Pousa et al.(2007)과 Martines-Filho et al.(2006)는 브라질의 바이오디젤 정책을 역사와 함께 보고 있으며, Lora et al.(2009) 또한 브라질의 바이오매스 에너지원에 대하여 설명하고 있다. 다수의 브라질 바이오에너지 정책에 대한 설명은 연구보다는 간행물 또는 보고서의 형태로 작성이 되어있었다. Singh et al.(2003)은 본 논문과 가장 근접한 형태를 띠고 있었으며 인도네시아와 인도의 바이오매스 에너지정책과 계획에 대하여 역사와 제도를 이용하여 설명하였으며, Gunningham(2013)은 에너지 안보, 에너지 빈곤 그리고 기후변화를 대처하는 인도네시아의 트릴레마(trilemma)에 대하여, Mukherjee et al.(2014)은 말레이시아, 인도네시아 그리고 태국의 야자유 기반 바이오디젤의 사회적 영향력에 대해서 서술하고 있다.

IV. 브라질의 3i & 바이오에너지 정책

1. 이익: 국가재정의 캐시 카우

브라질의 바이오에너지 정책 역사는 바이오에탄올의 역사와 함께한다. 1970년의 오일쇼크로 인

I. 권역질림

II. 연구성과

III. 연구논단

IV. 특징

V. 국내의 정책 · 기술 동향

VI. 그린스쿨 주요 활동 및 일정

Ⅲ. 연구논단

하여 자국 경제의 큰 타격을 입은 브라질은 1975년 “사탕수수 에탄올을 석유의 대용품으로 사용하는 것을 골자로 한” (윤택동 외 2012, 148) 국가 알코올 프로그램(National Alcohol Program)을 시행한다. 해당 프로그램은 바이오에탄올 생산을 늘리기 위한 조치로 네 가지 정책을 기반으로 하였다. 브라질 국영석유기업인 페트로브라스(Petrobras)에 에탄올 의무구매를 지시하였고, 에탄올 생산 기업에 49억 달러의 저금리 대출을 지원해 주었으며, 보조금 지원으로 휘발유보다 약 41% 낮은 금액에 소비자들이 이용할 수 있도록 하였으며, 에탄올의 의무혼합비율을 최소 22%로 설정하였다 (Hofstrand 2009). 이중 세 번째 정책인 휘발유보다 약 41% 낮은 금액설정은 소비자들로 하여금 휘발유보다 에탄올을 더 많이 쓰게끔 장려하였고, 이러한 이유로 에탄올의 사용량은 꾸준히 늘어났다. 1970년대뿐만 아니라 브라질 경제 사회 개발 은행(Brazilian Bank for Economical and Social Development: BNDES)에 따르면 현재에도 브라질의 바이오에너지 정책이 유지될 수 있는 이유로는 바이오에탄올의 가격 경쟁력 때문이라고 주장하는데, 여러 연구들을 바탕으로 에탄올의 리터당 생산 단가는 0.25달러에서 0.3달러 정도로 예상하고 있다. 이는 석유가격으로 환산했을 시 배럴당 36달러에서 43달러정도인 것으로 예상을 한다 (Watanabe 2009, 45). 국제유가를 한치 앞도 예측할 수 없는 상황에서 브라질의 경우 안정적인 국내 바이오에탄올 생산을 통해서 유가의 가격 변동성과는 상관없이 안정적인 에너지수급을 할 수 있는 것이다. 또한 브라질의 사탕수수 기반 에탄올 생산 원가는 에탄올생산량 1위인 미국의 옥수수 기반 에탄올보다 33~50%의 가격에 생산이 가능하여 세계 시장에서 가격경쟁력이 있다 (Nancy 2008, 336). 이러한 가격경쟁력과 안정적인 수급을 바탕으로 2012년에는 사탕수수 바이오에너지 분야에서만 438억 달러에 이르는 수익을 창출하였으며 이는 해당 시기 브라질의 국내총생산의 약 2%정도를 담당하는 수치이다 (Brazilian Sugarcane Industry Association 2016).

2. 아이디어: 군부독재체제의 결단력

자국 내 전체 석유소비의 80%를 수입에 의존하던 브라질은 1970년대 전 세계를 강타한 오일쇼크 (윤택동 외 2012)를 통하여 에너지 안보의 중요성을 깊게 깨달았다. 1964년부터 1985년 사이 브라질은 군부독재정권이 나라를 이끌었는데, 해당 시기에 오일쇼크를 경험하게 되었다. 1973년에는 수입 원유의 가격이 몇 달 사이 네 배가 뛰었으며 자본의 이탈과 국제수지 문제 등이 동시다발적으로 일어나기 시작했고, 원유 가격상승 자체만으로도 1974년 당시 브라질의 수입어음에 20억불을 추가 부담하게 되었다 (Marshall 1998, 237). 해당 시기에 브라질의 대통령이었던 에르네스투 베크만 가이젤 (Ernesto Beckmann Geisel) 대통령은 휘발유의 대체제로 국내 생산된 에탄올을 쓰고자 하였다. 이를 위하여 에탄올 공장 건설시 보조금 지급, 에탄올 가격 보장제, 에탄올연료 사용가능 자동차기술 개발비 지원 등을 약속하였다. 또한 1979년에 터진 제 2차 오일쇼크는 추가적인 에탄올 산업 육성도 화선에 불을 붙였으며, 가이젤 대통령의 후임인 조앙 바프티스타 피게이레두(Joao Baptista Figueiredo) 대통령 또한 사탕수수기반의 에탄올 산업에 대한 인센티브를 늘렸다. 설탕제조 기업들에 생산량 확대를 주문하였으며, 국영석유기업인 페트로브라스(Petrobras)에 전국 주유소마다 에탄

올충전시설을 설치하고, 에탄올연료 차량을 생산하는 기업에는 세금감면 혜택 등을 줄 것을 지시하였다(Nancy 2008, 335). 전 세계를 강타한 1970년대의 오일쇼크가 그 당시 정부의 최고 수장인 가이젤 대통령과 피게이레두 대통령의 바이오에너지, 특히 바이오에탄올 산업 육성 및 정책 제정 등의 의지를 있게 하였고 현재의 바이오에탄올 강국 브라질을 있게 하였다.

3. 제도: 연방국가의 응집력

브라질은 연방국가의 형태로 26개의 주(州)와 한 개의 연방구가 있다. 대부분의 연방 국가는 위에서 언급했듯이 각 주별로 독자적 헌법과 법률들을 가지고 있으므로 하나의 통일된 정책을 펼치기 어렵다. 하지만 브라질의 경우 1988년에 제정, 2005년에 개정된 제7차 헌법의 제22조¹⁾를 바탕으로 연방 정부가 브라질 전역의 에너지법을 제정할 수 있다(Food and Agriculture Organization of the United Nations). 이러한 이유로 에너지 분야에서 그리 많지 않은 기관들이 정책의 입안부터 최종적인 허가 및 관리까지 도맡아 하고 있다. 바이오연료 정책의 경우 주정부는 에탄올-휘발유 혼합 규정, 혼합유에 대한 세금 감면 혜택 및 에탄올 사용 차량 활성화를 위한 보조금 지급 등 세 부분에서만 개입이 가능하다(Jull et al. 2007). 브라질의 에너지이슈와 관련하여 대부분의 주요 정책 결정 및 집행은 광물에너지부(Ministry of Mines and Energy: MME)에서 관리하고 있으며, 국가에너지정책위원회(National Council for Energy Policy: NCEP)가 “대통령의 광물 및 에너지 분야 주요 정책결정을 보좌하는 자문기구”(외교부 2014, 225)로써 그 역할을 하고 있다. 바이오에너지의 규제는 광물에너지부 산하 전력청(National Electric Energy Agency: ANEEL)과 석유가스청(National Agency for Petroleum, Natural Gas and Biofuels: ANP)에서 담당하고 있는데 바이오에너지로부터 전력관련 정책은 전력청이, 바이오연료 관련 정책은 석유가스청²⁾이 담당하고 있다. 앞서 설명한 네 개의 핵심 기관이 브라질의 바이오에너지 정책을 이끌어가고 있으며, 이와 같이 소수의 기관에 집중되어있는 형태가 효율적인 바이오에너지 정책의 발달과 신속한 정책 집행에 큰 도움을 주고 있다.

V. 인도네시아의 3i & 바이오에너지 정책

1. 이익: 국가재정 유출 대책

인도네시아는 브라질보다 약 30년 뒤인 2003년에 들어서야 본격적인 바이오에너지 정책의 발전

¹ 제7차 헌법 제22조: 연방 정부는 에너지, 국제 무역, 및 수송부문에 있어서는 독점적인 법률제정 권한을 가진다(Food and Agriculture Organization of the United Nations).
² 바이오연료와 관련된 주 업무로는 생산, 품질관리, 수입, 수출, 저장, 유통, 소매, 마케팅, 환경보존 등의 역할을 담당하고 있다(Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Ⅲ. 연구논단

에 힘을 쏟기 시작하였다. 브라질과는 반대로, 인도네시아는 1970년 오일쇼크 당시 석유수출국기구(Organization of the Petroleum Exporting Countries: OPEC)회원국³이자 산유국으로서 오일쇼크의 큰 영향을 받지 않았다. 1973년 당시 인도네시아는 하루 100만 배럴의 원유를 생산해내는 산유국이었으며 전체 수출의 60%, 국가 예산의 70%를 원유수출로부터 벌어들였다(Made 2013). 이로 인하여 1980년대까지 급속도의 경제성장을 이룩하였으며 해당 시기엔 신재생에너지 및 바이오에너지의 중요성을 깨닫지 못하고 있었다. 2004년 이전까지만 해도 석유 수출국이었던 인도네시아는 2004년부터는 산유국임에도 불구하고 국내 석유 수요 증가로 인하여, 석유 순수입국으로 변모하였다. 꾸준한 경제성장과 인위적으로 통제된 낮은 연료가격으로 인하여 2012년엔 국내 원유 수요량이 일일 150만 배럴에 달했지만 국내 공급 가능량은 약 53%에 해당하는 일일 85만 배럴밖에 되지 않았다(Made 2013). 이와 같은 석유 수입증가로 인하여 인도네시아의 무역수지 적자 폭이 커짐과 동시에 인도네시아 루피아(Rupiah)의 가치가 하락했다. 이러한 이유로 인도네시아 정부는 각각의 지역에서 생산된 바이오연료를 소비하는 것이 석유 수입량을 적절히 관리하고 무역수지 적자 폭을 감소시킬 것이라고 예상하고 있다(Global Agricultural Information Network 2014). 또한 2014년 기준 세계 12위에 해당하는 풍부한 천연가스 및 세계 4위의 석탄 자원 등의(Central Intelligence Agency) 화석연료를 활용해 석유에너지를 일정부분 대체할 수 있었기 때문에 바이오에너지 정책에는 브라질보다는 상대적으로 덜 민감했다고 할 수 있다.

2. 아이디어: 에너지안보 위기 및 친환경

인도네시아의 바이오에너지 정책은 브라질만큼의 긴 역사를 가지고 있지 않다. 하지만, 1970년대 브라질의 군부 출신 대통령들과 마찬가지로 인도네시아의 바이오에너지 정책 실현에는 군 엘리트 장군 출신이자 전 에너지광물부의 장관이었던 수실로 밤방 유도요노(Susilo Bambang Yudhoyono) 대통령이 그 중심에 있었다. 2004년 10월부터 임기를 시작한 유도요노 대통령은 산유국임에도 불구하고 국내수요 증가로 인하여 해당연도부터 석유 순수입국이 된 인도네시아(외교부 2010)를 이끌어 가야 했다. 환경을 국가정책 및 외교 정책에 있어서 최우선으로 두고 본인의 국가 발전 방향성을 “성장을 위한, 일자리 창출을 위한, 빈곤퇴치를 위한, 환경을 위한”(Global Green Growth Institute)이라는 만트라를 두고 국정운영을 하였다. 또한 강화된 환경법으로 인하여 모든 개발활동에 있어서도 강화된 환경 기준을 따라야 했다. 이와 같은 유도요노 대통령의 친환경적인 인식을 바탕으로 한 그린 에너지정책(장관령, No.2/2004)⁴, 2005~2025 국가에너지시행 청사진⁵(International Energy Agency

³ 인도네시아는 1962년 OPEC 가입이후 2009년 1월 1일부로 탈퇴를 하였다. 이후 제 168차 OPEC 회의에서 재가입의사를 밝혔으며 2016년 1월 1일부로 다시 OPEC의 회원국이 되었으며, OPEC내의 유일한 아시아 국가이다 (Organization of the Petroleum Exporting Countries, 2016).

⁴ 인도네시아의 재생 가능 에너지원을 최대한으로 사용하는 전략 수립과 동시에 에너지효율증대 방안에 관한 대중의 인식 개선을 골자로 하며, 서부 누사 툽가라, 동부 누사 툽가라, 몰루켄, 파푸아 지역 등에서의 현지 재생 에너지 산업의 발전에 정부 보조금 혜택을 주는 정책이다 (International Energy Agency 2015, 122).

⁵ 인2005년에 발행되었으며, 인도네시아의 안정적이고 지속가능한 에너지 수급을 위하여 재생에너지 분야별 로드맵 제작, 단계적 연료보조금 폐지, 에너지효율 개선 등의 내용을 담고 있다. 최적의 에너지 관리를 위해서는 지열과 바이오연료의 중요성이 커질 것이라고 예상하고 있으며, 2025년에는 제1차 에너지 수급중 재생에너지의 비중이 17%까지 증가할 것이라고 예상하고 있다 (International Energy Agency 2015, 121).

2015)등을 기점으로 바이오에너지와 관련된 정책 및 계획을 세우기 시작하였다. 2005년에는 단계적으로 연료 보조금을 축소 및 폐지하여 바이오연료 산업이 독자 생존 가능하도록 조치를 취하였고, 2006년에는 특히 바이오연료의 육성을 위한 정책이 앞 다투어 제정되었다. 바이오연료 보급 및 사용(대통령훈령, No.1/2006)⁶⁾ 국가에너지정책(대통령령, No.5/2006)⁷⁾ 바이오연료 발전을 위한 국가연구팀(TIMNASS BBN)(대통령령, No.10/2006)⁸⁾ 설립 (International Energy Agency 2015)등이 현 인도네시아 바이오연료 정책의 중심이며, 이 모든 것이 유도요노 대통령의 첫 임기 기간 내에 이루어진 정책이다. 브라질보다는 약 10년 정도 정책의 발달과 이행에 있어서 늦었지만, 두 번의 임기 기간 동안 유도요노 대통령의 친환경적 인식과 활발한 기후변화대응이 인도네시아의 바이오에너지 정책에 큰 변화를 가져다주었다.

3. 제도: 지방자치조직의 비효율성

인도네시아는 한국과 같이 단방제(單邦制)의 형태로 중앙 정부에 국가의 권력이 집중되어있다. 이러한 형태의 국가일수록 중앙 정부의 권한이 한곳에 몰려있으므로 통일된 정책을 펼치기가 연방 국가들보다 쉽다. 인도네시아의 경우 단일국가의 형태이긴 하지만 넓은 범위에 약 10,000개가 넘는 섬들로 이루어진 군도국으로 크게 5개의 섬에 총 33개의 지방자치조직으로 나뉘어져있다 (대한무역투자진흥공사 2013). 바이오에너지 정책은 브라질과 마찬가지로 에너지·천연자원부(Ministry of Energy and Mineral Resources: MEMR)가 핵심 기관이며, 석유 및 가스부(Directorates General for Oil and Gas), 신재생에너지 및 에너지 보존부(Directorates General for New&Renewable Energy and Energy Consevation: DGNREEC) 등 분야별 부서가 따로 존재한다. 정책 제안, 인허가, 규제기관, 운용기관 등 네 분야에서 인도네시아는 많은 기관 또는 단체들이 연결되어있다. 바이오에너지 정책 제안 같은 경우 경제부(Coordinating Ministry of Economic Affairs: CMEA), 국가개발기획청(State Ministry of National Development Planning: BAPPENAS), 재무부(Ministry of Finance: MOF), 환경산림부(Ministry of Environment and Forestry: MOEF), 산업부(Ministry of Industry: MOI), 공공주택부(Ministry of Public Works and Housing: MoPWH)가 하고 있으며 대통령이 의장으로 있는 국가에너지위원회(National Energy Council: NEC)에서 중앙 및 지방정부의 에너지 계획에 관한 권한을 정립한다 (Asian Development Bank 2015, 10). 바이오에너지 정책 규제는 에너지·천연자원부의 분야별 부서가 모든 권한을 가지고 있다. 하지만 오히려 브라질과는 다르게 모든 바이오에너지 정책에 대한 인·허가권은 지방자치조직에게 있으며 이러한 배경에는 2004년 개정된 지방 정부법(Law on local government No.32/2004)이 있다. 지방자치조직에게 에너지자원개발에 대한 통제권 및 기반구축 프로젝트에 대한 승인 권한을 넘겨줌으로써 더 빠르고 신속한 업무 처리를 기대했던 것과는 달리, 중앙 정부의 분권이 오히

⁶⁾ 바이오연료 공급 및 활용 목표치 설정을 지시 (Caroko et al. 2011, 6).

⁷⁾ 바이오연료 5%, 지열 5% 등 2025년까지 재생에너지원 다원화와 에너지보존을 목적으로 하는 정책 (Caroko et al. 2011, 6).

⁸⁾ 바이오연료 사용 청사진 수립을 위한 국가연구팀의 설립. 국가연구팀에는 각 정부부서의 대표단과, 정부기관, 연구기관 및 민간 부분에서의 인력이 공동으로 연구를 진행 (International Energy Agency 2015, 121).

Ⅲ. 연구논단

려 혼란만 가중시켰을 뿐만 아니라 더 많은 관할권 분쟁을 야기하였다. <표 1>에서 볼 수 있듯이 바이오연료 정책에 있어서도 위와 같은 복잡한 체계가 구축되어있다.

또한 에너지·천연자원부 산하 신재생에너지 및 에너지 보존부서의 다단 쿠스디아나 박사(Dr. Dadan Kusdiana)의 2014년 발표에 따르면 전력생산용 바이오매스 또는 바이오가스의 활용에 앞서서 총 아홉 단계를 거쳐야했으며 이 과정에서 다섯 개의 기관으로부터 승인을 받아야했다 (Kusdiana 2014). 이와 같은 복잡하고 비효율적인 단계들을 거치고 나서야 비로소 민간부분 사업자는 바이오매스 또는 바이오가스를 활용할 수 있는 방안이 생기는 것이다.

특히 토지취득과 토지권위임에 있어서 정부의 승인 절차 지연이 신규 신재생에너지 (바이오에너지 포함) 프로젝트의 취소로 이어진 경우도 적지 않았다. 예를 들면 신재생에너지 프로젝트에 민간 부문의 참여를 이끌어 내려면 관련 부문에 있어서 신속한 승인 및 개발권 취득이 이루어져야하는데, 인도네시아의 경우 중앙정부와 지방정부에서 이중 승인을 얻어야하며 수많은 정부기관에서도 복잡한 승인절차를 거쳐야한다 (International Energy Agency 2015, 126).

[표 1] 바이오연료 발전을 위한 인도네시아 정부부처간의 역할 분담표

정부부처	역할
경제부	화석연료 대체제로써 바이오연료 활용계획 수립
에너지·천연자원부	바이오연료 활용 개발자에 대한 정책적 지원 방안 마련
	바이오연료 품질기준 마련 바이오연료 테스트를 위한 시스템 마련
농림부	바이오작물에 관한 정보 및 씨앗 제공
산림부	비생산적 산림의 바이오작물 농장 허가 승인
산업부	바이오연료 생산을 위한 현지시설 개발
	바이오연료 프로세싱을 위한 바이오산업 촉진
교통부	수송부문의 바이오연료 사용 확대법 제정
연구기술부	바이오연료 관련 연구개발 투자 확대
협업체 및 소기업부	협업체와 소기업의 활발한 바이오연료 산업 진출 촉진
	공기업부
내무부	바이오작물 농장 확대를 위한 각 지역별 관계자 접촉
재무부	바이오연료 사용 확대를 위한 보조금 마련

출처: IBP Inc.(2015), p. 112.

VI. 합의

이익 측면에서 브라질의 경우 바이오에탄올의 가격경쟁력과 국제사회에서의 수요에 따른 수출 증가로 인한 외화수입에 의하여 바이오연료 정책을 꾸준히 유지하고 있으며, 인도네시아 또한 대량의 야자유 생산 및 바이오디젤의 수요 증가로 인한 수출증가 및 국내 석유 생산분의 수출 등을 통하여 국가재정에 도움이 되는 외화수입이 발생하고 있으므로 바이오에너지 정책이 유지되고 있다.

아이디어 측면에서는 두 나라 모두 첫 바이오에너지 정책의 이행시기에 군 배경의 대통령이 정권에 있었으며, 바이오연료 정책에 대하여 긍정적이었다. 1970년대 브라질의 가이젤 대통령과 피게이레두 대통령의 에탄올 산업 육성 정책이 전 세계적인 오일쇼크와 시기적으로 잘 맞아떨어졌고, 2004년 인도네시아의 유도요노 대통령의 친환경적인 성향도 인도네시아가 석유 순수입국으로 변모했던 시기와 잘 맞았다.

연방국가인 브라질의 경우 국가에서 중요하게 생각하는 에너지 분야를 오히려 총 네 개의 부서에서 집중적으로 바이오에너지 정책을 관리를 하고 있지만, 단일국가인 인도네시아의 경우 이 권한을 각 지방자치조직에 위임함으로써, 바이오에너지 정책의 도입 및 확산에 더 많은 시간이 소요된다고 할 수 있다. 또한 여러 부서들의 비효율적이고 중복적인 승인절차로 인하여 민간 부문의 참여를 저해시키고 있다. 이러한 제도적 및 기관 복잡성의 차이가 브라질과 인도네시아의 바이오에너지 정책 도입에 큰 차이를 발생시킨다.

VII. 결론

브라질과 인도네시아 두 나라 모두 각각의 상황에 맞는 바이오에너지 정책을 펼쳐 나가고 있다. 공공정책 발전 과정의 분석틀인 “3-i”를 통하여 두 나라의 이익, 아이디어, 그리고 제도를 비교해본 결과, 브라질과 인도네시아의 내부적인 요소인 이익 그리고 아이디어 측면이 두 나라의 바이오에너지 정책의 이행시기를 갈랐을 뿐, 발달 및 시행에서는 비슷한 목적성과 인식이 기초하고 있었다.

브라질과 인도네시아는 제도적인 측면에서 바이오에너지 정책의 발달과 이행과정에서 큰 차이를 보였는데 이는 바이오에너지 정책과 관련된 기관들의 복잡성과 연관되어 있었다. 브라질은 연방국가임에도 불구하고 광물에너지부가 국가에너지정책위원회의 자문을 받아 모든 바이오에너지 정책의 결정 및 집행을 담당하고 있었는데, 이는 브라질의 헌법과도 깊은 연관성이 있었다. 하지만 인도네시아의 경우 오히려 단일국가이자 중앙 정부가 모든 권한을 가지고 있음에도 불구하고 군도국이라는 지리적 특성과 브라질의 26개보다 많은 33개의 지방자치조직의 존재가 오히려 바이오에너지 정책의 발달과 집행을 발목을 잡고 있다. 또한 수많은 기관에서 여러 역할과 권한을 나누어 가지고 있다 보니 민간부분에서의 참여 또한 쉽지가 않은 실정이다.

앞으로 진행되어야 할 연구 과제로는 브라질과 인도네시아가 가지고 있는 기술에 대한 연구를

Ⅲ. 연구논단

통하여 과연 인도네시아가 브라질만큼의 바이오연료 강국이 될 가능성이 있는지와 브라질의 국영 에너지기업인 페트로브라스(Petrobras)와 인도네시아의 국영석유기업인 페르타미나(Pertamina)의 존재가 바이오에너지 시장의 발전에 어떠한 영향을 미쳤는지에 대하여 연구해 볼 수 있겠다.

참고문헌

- 대한무역투자진흥공사. 2013. "인도네시아의 정치사회동향." http://www.globalwindow.org/GW/global/id/info/country.html?&MENU_CD=M10205&UPPER_MENU_CD=M10201&MENU_STEP=2 (검색일: 2016.5.20.).
- 외교부. 2010. "인도네시아의 석유 및 천연가스 산업." <http://terms.naver.com/entry.nhn?docid=1643205&cid=43784&categoryId=43785>(검색일: 2016.5.10.).
- 외교부. 2014. "2014 주요국 에너지·자원 현황 및 정책: 브라질." 서울: 외교부 국제경제국 국제에너지안보과.
- 윤택동 외. 2012. "브라질 바이오에탄올 연구 현황 및 방향 분석." *이베로아메리카* 14(1), 143-177.
- Asian Development Bank. 2015. "Summary of Indonesia's Energy sector Assessment." ADB Papers on Indonesia. www.adb.org/sites/default/files/.../ino-paper-09-2015.pdf (검색일: 2016.5.15.).
- Brazilian Sugarcane Industry Association. 2016. "Impact on Brazil's Economy." <http://sugarcane.org/the-brazilian-experience/impact-on-brazils-economy> (검색일: 2016. 5. 15.).
- Caroko, Wisnu., Heru Komarudin., Krystof Obidzinski., and Petrus Gunarso. 2011. "Policy and institutional frameworks for the development of palm oil–based biodiesel in Indonesia." http://www.cifor.org/publications/pdf_files/WPapers/WP62Komarudin.pdf (검색일: 2016. 05. 20.).
- Central Intelligence Agency. "The World Factbook." <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/> (검색일: 2016.4.27.).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. "Case studies on bioenergy policy and law: options for sustainability." <http://www.fao.org/docrep/012/i1285e/i1285e03.pdf> (검색일: 2016.5.20.).
- Global Agricultural Information Network. 2014. "Indonesia biofuel annual." http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Jakarta_Indonesia_6-27-2014.pdf (검색일: 2016.5.14.).
- Global Green Growth Institute. "Prof. Dr. Susilo Bambang Yudhoyono." <http://gggi.org/staff/prof-dr-susilo-bambang-yudhoyono/> (검색일: 2016.5.10.).
- Gunningham, Neil. 2013. "Managing the energy trilemma: the case of Indonesia." *Energy Policy* (54): 184-193.
- Hall, Peter A. 1997. "The role of interests, institutions, and ideas in the comparative political economy of the industrialized nations." *Comparative politics: Rationality, culture, and structure*: 174-207. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hochstetter, Kathryn, and Genia Kostka. 2015. "Wind and Solar Power in Brazil and China: Interests, State-Business Relations, and Policy Outcomes." *Global Environmental Politics*, 15(3): 74-94.
- Hofstrand, Don. 2009. "Brazil's ethanol industry – part two." <https://www.extension.iastate.edu/agdm/articles/hof/HofFeb09.html> (검색일: 2016. 04. 20.).
- IBP Inc. 2015. *Indonesia Energy Policy, Laws and Regulation Handbook Volume 1 Strategic Information and Basic Law*. Washington DC: International Publications, USA.
- Institut National de Sante Publique du Quebec. 2014. "Understanding policy development and choices through the "3-i" framework." http://www.ncchpp.ca/docs/2014_ProcPP_3iFramework_EN.pdf (검색일: 2016.5.19.).
- International Energy Agency. 2016. "Bioenergy." <https://www.iea.org/topics/renewables/subtopics/bioenergy/> (검색일: 2016.4.27.).
- International Energy Agency. 2013. "World Energy Outlook." <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2013/> (검색일: 2016.4.27.).
- International Energy Agency. 2015. "Indonesia." <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-policies-beyond-iea-countries-indonesia-2015.html> (검색일: 2016.4.27.).
- Jull, Charlotta., Patricia Carmona., Victor Mosoti., and Jessica Vapnek. 2007. *Recent trends in the law and policy of bioenergy production, promotion and use*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Kusdiana, Dadan. 2014. "Bioenergy policies and regulation in Indonesia." http://bio-step.eu/fileadmin/BioSTEP/Bio_strategies/Indonesia_Bioenergy_Policies_and_regulations.pdf (검색일: 2016.5.19.).

2016.5.20.).

Lora, E. S, and R. V. Andrade. 2009. "Biomass as energy source in Brazil." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (13)4: 777-788.

Made, Bimantara. 2013. "Oil shock and revolution reshape Indonesia's fortunes." *The Diplomat* (November 11).

Marshall, C. Eakin. 1998. *Brazil: The once and future country*. Palgrave Macmillan US.

Martines-Filho, Joao., Heloisa L. Burnquist, and Carlos EF Vian. 2006. "Bioenergy and the rise of sugarcane-based ethanol in Brazil." *CHOICES 2nd Quater* 2006 21(2): 91-96.

Mukherjee, Ishani, and Benjamin K. Sovacool. 2014. "Palm oil-based biofuels and sustainability in southeast Asia: A review of Indonesia, Malaysia, and Thailand." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 37: 1-12.

Nancy, I. Potter. 2008. "How Brazil Achieved Energy Independence and the Lessons the United States Should Learn from Brazil's Experience." *Washington University Global Studies Law Review*. 7(2): 331-351.

Organization of the Petroleum Exporting Countries. 2016. "Indonesia." http://www.opec.org/opec_web/en/about_us/3194.htm (검색일: 2016.4.25.).

Peters, B. Guy. 2002. "The politics of tool choice." *The tools of government: A guide to the new governance*: 552- 564. Oxford: Oxford University Press.

Pomey, M.-P., Morgan, S., Church, J., Forest, P. G., Lavis, J. N., McItoch, T., Smith N., Petrela J., Martin E., and Dobson, S. 2010. "Do provincial drug benefit initiatives create an effective policy lab? The evidence from Canada." *Journal of Public Health Politics, Policy, and Law*. 35(5): 705-742.

Pousa, Gabriella PAG, Andre LF Santos, and Paulo AZ Suarez. 2007. "History and policy of biodiesel in Brazil." *Energy Policy*. (35)11: 5393-5398.

Purdon, Mark. 2015. "Advancing Comparative Climate Change Politics: Theory and Method." *Global Environmental Politics* (15)3: 1-25.

Rocan, Claude. 2012. *Challenges in Public Health Governance: The Canadian Experience*. Ottawa: Invenire Books.

Singh, Rajbeer, and Andri D. Setiawan. 2013. "Biomass energy policies and strategies: Harvesting potential in India and Indonesia." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 22: 332-345.

The World Bank. 2016a. "Brazil." <http://data.worldbank.org/country/brazil> (검색일: 2016.4.27.).

The World Bank. 2016b. "Indonesia." <http://data.worldbank.org/country/indonesia> (검색일: 2016.4.27.).

Watanabe, Marcos. 2009. "Ethanol production in Brazil: Bridging its economic and environmental aspects." *International Association for Energy Economics*. 45-48.

I. 권역별

II. 연구성과

III. 연구논단

IV. 특집

V. 국내외 정책 · 기술 동향

VI. 그린스쿨 주요 활동 및 일정

Ⅲ. 연구논단



중국 환경 시장 진출 지원 정책에 대한 연구: 三廢분야의 국내 중소기업 진출을 중심으로*

위 강 순 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정

A Study on Policies to Support the Entry of Korean SMEs into the Chinese Environmental Protection Market

Kang-Soon Wi | Ph.D. Candidate, Green School, Korea University

초록

세계의 공장으로서 불리우며 고속 성장을 이어나온 중국이 세계에서 가장 많은 오염을 배출하는 국가로 등장하면서 환경문제가 국내외 최대의 현안 중 하나로 대두되고 있으며 환경오염에 대한 경각심이 강화되면서 중국 역사상 가장 엄격한 수준의 환경보호법인 「신환경 보호법」을 시행하고 있다. 이러한 중국의 환경규제 강화추세는 중국 환경산업에 중요한 성장동력이 될 것으로 전망되므로 중국과 인접해 있는 우리나라는 중국 환경시장 규모가 커지는 데 따라 중국진출에 대한 보다 체계적이고 전략적인 지원이 필요한 상황이다. 특히 97%가 중소기업인 국내환경산업이 중국의 환경시장에 진출하기 위해서는 지원 조직 및 역할정비, 정보의 차별화 및 등급별 제공, 환경기금 조성, 현장실무형 육성 등 맞춤형 지원정책이 요구된다. 이에 동 연구에서는 중국 환경오염실태와 시장현황, 그리고 국내외 시장진출 상황에 대해 알아보고 설문 조사 및 사례분석을 통해 국내환경산업의 대부분을 차지하고 있는 국내 중소기업의 중국환경시장 진출지원을 위한 현실적이고 실행 가능한 정책과 개선방안에 대해 연구해 보고자 한다.

주제어: 중국 환경시장, 국내 중소기업, 중국 시장진출 지원정책

I. 서론

환경문제가 글로벌 이슈화되고 공감대가 확산됨에 따라 세계 환경시장은 연 3%의 안정적인 성장을 지속하면서 2020년 기준 1조 1,865억불 대의 거대시장으로 재탄생 될 전망이다(위터저널 2016). 이 중에서도 세계의 공장으로서 불리우며 고속성장을 이어 온 중국은 성장의 부산물로 환경오염이 악화되고 국내외적으로 환경보호에 대한 경각심이 강화되면서 중국 환경보호 및 정화시장은 떠오르는 블루오션으로 관심의 초점이 되고 있다. 특히 막대한 경제적, 사회적 피해를 낳고 있는 삼폐(三廢)를 중심으로 한 중국의 오염현황은 중국 역사상 가장 엄격한 「신 환경보호법」 제정 및 발효

* 본 기고는 2016년 「환경정책」 제24권 제3호에 게재된 논문임.

를 이끌어 내면서 향후 천문학적 규모의 환경시장이 창출될 것으로 기대된다. 특히 13.5규획(제13차 5개년: 2016~2020년)시기에는 폭발적인 성장에 진입할 것으로 전망되고 있다.

우리가 중국의 환경시장을 간과할 수 없는 이유는 언급된 시장 유망성과 지리적 근접성 및 문화적 유사성 그리고 중국환경시장에 적합한 기술력 보유 등 상대적 유리점 외에도 국내 환경산업의 97%라는 절대 다수를 차지하고 있는 환경 중소기업²에게 큰 부가가치를 창조하는 소중한 먹거리 산업이 될 수 있다는 점으로 중국이라는 적격의 시장을 적극 공략해야 할 필요성은 충분하다고 하겠다.

더불어 중국환경시장 최고의 성장기는 가장 강력한 환경보호정책이 시행되고 있는 13.5규획인 향후 5년이 될 것으로 보이므로 이 공략시기를 제대로 활용하지 못하면 중국 환경시장은 우리에게 더 이상 블루오션으로 남아있지 않을 것이다. 그 이후에는 이미 시장은 성장기를 지난시점으로 중국자체의 기술력 또한 제고되었을 것으로 예상되기 때문이며 분야를 막론하고 시장타이밍을 맞춘 적시공략이야말로 시장진출의 성공을 좌우하는 관건이 될 것이다.

그러나 이러한 시장 공략의 당위성에도 불구하고 관시문화 및 대규모 자금과 장기의 투자 회수 기간이 필요한 Build-Operate-Transfer(BOT)방식이 주류를 이루는 시장특성과 한-중 Free Trade Agreement(FTA) 이후 날로 심화되어가고 있는 비관세 장벽 등 중국환경오염처리시장은 국내중소환경업체들이 접근하기 어려운 조건들을 두루 갖추고 있어 진입 리스크 완화와 더불어 정부의 지원이 절실한 곳이다.

현재 정부에서도 환경업체의 중국을 비롯한 해외시장 진출을 위해 다각도의 지원책을 시행하고 있으나 해외진출지원정책의 역사가 그리 길지 않은 관계로 지원조직과 역할이 체계화되어 있지 못하고 지원내용에 있어서도 수요에 못 미치거나 신규로 도입해야 할 정책들도 상당수 있는 것으로 분석된다. 현장 수요조사 결과, 업체들 또한 큰 틀의 개괄적인 정책보다는 산업환경과 시장특성을 감안한 세밀하고 실무적인 정책지원을 필요로 하고 있는 것으로 파악되고 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 염두에 두고 국내환경산업의 취약점과 중소환경업체의 중국진출의 장애요인을 보완하는 동시에 현행정책의 미비점을 시급히 개선해야 필요가 있는 실행가능한 정책방안에 대해 제안하고자 한다. 이를 위하여 문헌 및 사례조사 그리고 환경업체 대상의 현장설문조사를 통해 중국환경시장 및 국내업체의 진출현황을 분석하고 중국시장 진출확대를 위한 중소환경업체 특화형 정책방안을 도출하고자 하며 이러한 국내 환경산업의 현황에 기초한 지원 정책 연구는 중국시장 외에도 인도, 동남아, 중동 등의 차세대 환경시장 공략을 위한 효과적인 정책 추진에도 참고가 될 수 있다는 점에서 부가적인 의미가 있을 수 있다.

1 바이중국의 오염물질 방출 및 오염산업을 통제하는 환경정책. 삼폐란 유해가스, 폐수, 고체폐기물을 가리키며 매년 삼폐로 인한 오염이 초래하는 경제손실은 300억 위안 을 넘어섬.
2 『중소기업기본법』제 2조에 따른 중소기업으로서 환경산업을 경영하는 기업.

Ⅲ. 연구논단

Ⅱ. 선행연구 검토

관련된 선행연구를 살펴보면 주로 국내 환경업계 전반을 대상으로 기술된 내용으로서 중소기업에 특화되어 해당 정책지원을 주제로 한 최근 시점의 연구자료는 거의 없는 것으로 보인다. 우선 국내 환경산업의 중국 진출에 대해서 이용필(2009)은 중국의 대기환경 시장분석을 중심으로 중국의 환경산업 및 시장현황을 분석하고 사례들을 통해 한국 환경기업의 중국진출전략을 제시하였으며 주요한 전략으로서 시장 및 동향에 대한 정보 확보, 현지수요에 맞는 우수한 기술과 설비 및 신뢰성 확보, 인적 네트워크의 중요성, 파트너 선정 그리고 관습의 이해와 인력확보를 통한 현지화를 제안하였다.

김홍석(2013)은 국내 환경산업의 해외진출 지원정책을 조사한 자료에서 국내 환경기업들의 원활한 해외진출과 효과적인 다양한 프로그램을 중장기적으로 지원할 수 있는 전략으로써 해외협력 네트워크 강화, 선택과 집중을 통한 유망기업 수출분야 육성, 수출시장 다변화 및 고객발굴 지원강화, 해외 프로젝트 수주 강화, Green Climate Fund(GCF)를 활용한 개도국 기후변화 협력사업 발굴을 제시하였다.

문익준 외(2013)는 한-중녹색산업 무역분석자료에서 대규모 자본력과 기술경쟁력 및 높은 인지도가 요구되는 중국 오염정화시장은 한국환경업체들이 경쟁하기 어려운 조건을 갖추고 있으며 이러한 제약과 리스크를 상쇄하기 위해서는 정보력이 약한 중소 환경기업을 위한 실질적인 매칭서비스, 진출초기의 금융 및 경영진단지원, 통관절차 간소화 등을 위한 정부협상, 정부차원의 환경전문가와 통상전문가 간의 상시적인 협조채널 구축 등이 필요하다고 주장하였다.

정지현 외(2016)는 최신의 자료를 토대로 중국 환경시장의 분야별 특징과 지역별 협력방안을 연구하였는데 중국의 「신환경보호법」개정에 따른 중국환경시장 확대에 초점을 맞추어 진출유망 지역에 대한 분석과 선택과 집중을 종합한 맞춤형 지원이 필요하고 한-중 FTA에 따른 환경서비스 분야 대응전략도 마련되어야 한다고 주장하였다. 구체적으로는 ‘관시’ 형성을 위한 현지업체 발굴, 제조업체와 협업진출, Public-Private Partnership (PPP)사업 개발 단계의 정부지원 강화 등이 필요하다고 언급하였다.

본 연구에서는 국내 중소환경업체의 현황과 중국 환경시장의 특성에 맞추어 두가지 요소를 모두 포괄한 독창성 있으면서도 실행 가능한 내용의 중소환경업체 특화형 중국시장 진출 지원 정책을 제안해 보고자 한다.

III. 중국 환경오염 실태 및 환경시장 현황

1. 중국의 환경오염 실태

중국의 환경오염 중에서도 가장 심각한 것은 수질오염으로 2014년 중국 환경보호부 자료에 의하면 지하수의 2/3와 지표수의 1/3이 심각한 오염상태이며 7대 수계³⁾가 중급오염에 속하는 상황이다. 수질오염의 주요원인은 공업오수의 배출로 도시의 경우 도시공업폐수와 생활오수가 직접 수역으로 배출되고 있어 수질오염이 악화되고 있다.

중국은 또한 수자원이 가장 심각하게 부족한 국가로서 담수자원의 총량은 세계 6위지만 *1인당 담수자원량이 겨우 2,000 m³ 내외의 100-117위로 세계 평균의 1/3에 지나지 않으며 중국 13억 인구 중 70%가 지하수를 음용하고 있으나 문제는 지하수의 대부분이 오염되어 있다는 점이다(KOTRA 중국지역본부 2012). <2015 중국환경상황공보>에 따르면 5,118개 지하수 수질검사 결과 우수지역은 9.1%에 그치고, 수질이 안 좋거나 열악한 지역비율은 각각 42.5%, 18.8%에 달하는 것으로 파악되고 있다.

에너지 이용과 큰 상관관계에 있는 대기오염의 경우 세계 1위의 에너지 소비국인 중국이 2011년 미국을 제치고 세계 1위의 온실가스 배출국이 되었으며 그중에서도 석탄에 대한 에너지 의존도가 높아 이산화황과 질소산화물 배출량이 세계 최고에 달하고 우리나라를 비롯한 인근국에 미치는 피해도 심각한 상황이다.

최근 국제환경단체 그린피스 동아시아지부에서 공개한 중국당국의 2015년 1분기 주요지역의 대기오염 실태자료에 의하면 주요도시 360곳 가운데 90% 이상이 정부의 대기오염 기준에 미달했고, 141개 도시의 PM 2.5⁴⁾ 수치는 기준보다 2배 이상 높았다. 이러한 대기오염으로 인한 직접적인 경제적 손실은 최소 230억 위안(한화 약 4조 원)가량에 달하는 것으로 파악되고 있다.

중국은 세계에서 가장 많은 폐기물을 배출하는 국가로 중국 환경보호부 자료에 의하면 산업고체 폐기물 발생량이 2005년 이후로 지속 증가하여 2014년에 32.6억 톤에 달하였는데 이중에서도 공업고체폐기물은 환경에 영향을 미치는 주요요소로서 토지뿐 아니라 지하수 및 상수원을 오염시키고 있다. 특히 도시지역의 경우 생활쓰레기 및 고체 폐기물로 인한 오염이 심각한데 도시지역의 쓰레기 배출량이 매년 8%의 속도로 증가하고 있으며 중국 통계국 자료에 의하면 운송량으로 대체하는 도시 폐기물량은 2014년 178.6백만 톤에 이르고 칭화대 통계자료에 따르면 매년 중국에서 발생하는 음식물 쓰레기량이 하루 평균 16만 톤 이상이 발생하는 것으로 조사되고 있다고 한다.

중국은 석탄으로 가동하는 화력발전소에서 내뿜는 오염물질과 광산개발 및 산업 폐기물, 중금속 폐수 등으로 인해 토양오염 역시 가속화되고 있는데 2014년 중국 환경보호부와 국토안전부가 공동으로 발표한 <전국 토양오염현황조사 공문>자료에 의하면 중국 토지의 16.1%가 오염된 것으로

³ 장강, 황하, 주강, 송화강, 화이하, 하이하, 라오하를 가르킨.

⁴ 대기 중에 존재하는 오염물질 중 직경 2.5 μ m 이하의 먼지를 말함. PM 2.5는 매우 미세한 입자(머리카락 두께의 약 1/3정도)로 폐포까지 흡수되는 크기이므로 건강에 미치는 위험이 큰 것으로 알려져 있음.

Ⅲ. 연구논단

나타났으며 토지유형별로는 농경지, 임지, 초지의 토양 오염률이 각각 19.4%, 10%, 10.4%에 이르러 농작물에 미치는 영향이 심각한 상태이다.

2. 중국 환경시장 현황 및 전망

중국의 환경오염 심각성을 반증하는 「신환경보호법」(Environmental Protection Law of the people's Republic of China)이 2015년 1월 시행됨에 따라 환경오염에 대한 엄격한 통제와 더불어 중국의 환경산업은 2016~2020년간 총 투자규모가 17조 위안에 달하는 등 시장이 크게 확대될 것으로 기대되고 있다. 중국 중앙은행의 2015년 1분기 녹색금융 보고서에 따르면 중국이 환경오염 개선 5개년 목표를 달성하려면 매년 2조 위안(340조원)의 예산이 필요할 것으로 추정되고 있는 가운데 중국국가발전 개혁위원회(國家發展改革委員會, National Development and Reform Commission: NDRC)는 환경산업의 가치가 4조 5천억 위안에 달할 것으로 전망하였다.

관련하여 환경부와 포스코 경영 연구원은 중국 환경시장이 2011~2015년 매년 15~20%씩 성장해 왔고 향후 5년간 급속한 성장이 전망되며 특히 수처리 시장 및 광동, 산둥, 저장, 허난 지역이 유망할 것으로 분석하였고 정지현 외(2015)는 중국 환경산업이 1인당 GDP가 1만 달러를 넘어설 13.5규획(제13차 5개년: 2016~2020년)시기에 J커브의 폭발적인 성장에 진입할 것으로 언급한 바 있다.

다음은 시장성이 유망한 삼폐(三廢)를 중심으로 좀 더 세부적으로 살펴보기로 한다.

수처리 시장은 중국보고대청이 최근 발표한 <2014~2020년 중국 오수처리산업 시장발전 추세 및 업종투자 연구 보고>에 따르면 해당분야에 대해 향후 2조 위안의 투자가 이루어지면서 중국 오수처리산업이 대 발전의 시기를 맞을 것으로 전망하고 있다. 부가하여 국가 환경보호부 환경계획원의 발표자료에 따르면 12.5 규획기간 및 13.5 규획기간 동안의 폐수처리 투자비용은 각각 1조 583억 위안과 1조 392억 위안에 달할 것으로 분석하고 있다.

다음으로 중국 도시들의 높은 대기 오염 수준을 고려해볼 때 대기오염 저감은 큰 규모의 시장이 될 수 있다. 중국정부의 대기오염 방지 행동 계획에 따르면 2017년까지 PM10⁵, PM2.5 개선을 위해 총 1.7조 위안이 투자될 예정으로 중국의 대기산업 시장규모는 2012년 기준 집진분야 268.6억 위안, 탈황분야 132억 위안, 탈질분야 544.5억 위안 등 총 975.1억 위안으로 추산되며 대기오염물질 주요 배출산업인 화력발전업의 경우 2020년까지 3,000억 위안 이상의 시장이 형성될 것으로 예상하고 있다.

고형 폐기물 시장의 경우 환경부 외(2015c)에 의하면 생활폐기물 시장이 2010년부터 연평균 15%의 성장을 보이면서 2020년에는 4,500억 위안에 달할 것으로 전망하고 있으며 정부투자에 의해 생활폐기물 처리산업과 폐자원 에너지화 시장규모가 확대될 것으로 보이는데 2018년 말에는 세계 폐자원 에너지화 시장에서 중국의 비중이 두 배로 성장할 것으로 예상하고 있다.

토양의 질 또한 중국에서는 최대의 걱정거리가 되고 있다. 환경부 외(2015a) 및 강현희(2014)에 의하면 토양환경보전과 종합관리 공작계획에 따라 토양오염 확산방지를 위해 2015년까지 750억 위

⁵ 우리 눈에 보이지 않을 정도로 가늘고 작은 먼지입자로 지름 10 μm 이하의 먼지.

안까지 투자하면서 향후 5년간 토양정화시장 규모가 6,257억 위안에 달할 것으로 전망되지만 중국의 토지오염 개선산업은 발전수준이 낮고 현지 업체들의 무분별한 사업참여로 치열한 경쟁이 예상되므로 현지정보 및 네트워크가 부족한 국내 중소기업의 여건상 중국 토양정화 시장 진출은 신중한 고려가 필요할 것으로 보인다.

한편, 각국의 중국 환경시장 진출동향을 살펴보면, 수처리 분야에 있어서는 프랑스 Suez Environment, Veolia Water, 독일 Berlin, 영국 Thames Water Utilities Limited 등 세계 주요 다국적 업체들이 진출해 있는데 2014년 기준 중국 오수처리 산업의 일정 규모 이상 기업수는 281개로 집계되고 있으며 대기정화시장은 중국 정부의 대기오염 개선 투자계획이 발표된 2013년부터 현지정화업체들이 대기정화산업에 본격적으로 진출하기 시작하였는데 외자기업으로는 일본 Universal 주식회사, 네덜란드 Fuel Tech 등을 들 수 있다. 부가하여 중국의 탈황시장은 전 세계 주요기업의 각축장이 되고 있는데 독일, 미국, 일본, 스웨덴, 이태리, 오스트리아, 한국 등으로부터 배연 탈황 프로젝트 기술 및 설비를 도입하고 있으나 중국 자체 기술개발도 상당 수준에 와 있는 상태로 파악된다.

토양정화부분은 2012년 한 해 동안 50여 개의 현지 토양정화업체가 설립되었고 2013~2014년 상반기 동안만도 1,000여 개에 달하는 업체가 중국 토양시장에 진입하였으며 대표적인 현지기업으로 BCEER, Bio-Forn 등이 있고 외자기업으로는 영국 ERM, 네덜란드 DHV 등이 있으며 한국기업으로는 SK 등이 진출해 있다(강현희 2014).

유해 폐기물 처리시장은 Dongjiang Environmental, Sound Group, Shenzhen Green-Eco 등의 현지 업체들이 시장을 주도하고 있고 외국업체는 Veolia (프랑스), JFE엔지니어링 (일본) 등 소수에 그치고 있다.

그 외 환경설비 및 기자재 시장의 경우 미국, 일본, 독일 등 주요 선진국들이 자국 차관지원 및 무상증여, 시범 사업 실시를 통한 시장진출을 하고 있는데 주목할 만한 점은 핵심기술이전은 하지 않고 설비교체 및 A/S용으로 고가의 핵심 기자재를 주로 수출하고 있다는 점이다.

IV. 국내 환경산업 현황 및 중국진출 시사점

1. 국내 환경산업 및 해외진출 지원정책 현황

국내 환경산업은 1990년대 초반 이후 꾸준하게 성장하여 왔는데 2014년 말 기준으로 환경산업 통계 조사에 의하면 국내 환경산업 관련 사업체수는 57,108개소, 환경부문 종사자수는 454,749명으로 전년대비 다소의 증가세를 보이고 있으며 환경부문의 수출액은 2014년 8조 1,941억 원이며 대 중국 수출액은 17,105억 원으로 전년대비 133.6% 증가한 실적을 보이고 있다.

강현희(2014) 및 자체분석자료를 종합해 보면 2014년 말 기준 중국에 지점이나 현지법인 형태로 진출한 국내 환경산업 관련업체는 총 34개사 내외로 파악되며 지역별로는 상하이에 10개사, 산둥성

Ⅲ. 연구논단

[표 1] 국내 환경산업 현황

구분	2013	2014	증감률(%)
사업체수(개소)	56,411	57,108	1.2
환경부문 종사자수(명)	421,166	454,749	8.0
환경부문 매출액(억 원)	898,044	980,825	9.2
환경부문 투자액(억 원)	45,592	44,089	-3.3
환경부문 수출액(억 원)	79,224/	81,941/	3.4/
대중국 수출액(억 원)	7,323	17,105	133.6

출처: 환경부 (2016) 자료를 재구성.

6개사, 베이징 5개사, 텐진 4개사 그 외 산시성, 랴오닝성, 시성, 닝샤 등에 일부 소재하고 있으며 2001~2005년 중 진출한 업체가 전체의 47%에 달하고 2011년 이후에 진출한 업체는 14.7%에 그치고 있다. 또한 94% 업체가 단독투자의 형태를 띠고 수처리, 대기정화 등 설비관련 업체가 절반 이상을 차지하고 있는 것으로 집계된다.

한편 해외진출 지원과 관련된 우리나라 환경산업 정책은 환경산업의 육성 및 국제경쟁력 강화를 주 내용으로 하는 「환경기술 및 환경산업 지원법」을 제정하면서 환경산업을 법적으로 지원할 수 있는 근거를 마련하였는데 이 중 해외진출 지원과 관련된 주요 내용을 관련법령 자체조사 및 선행자료(김홍석 2013) 등을 종합하여 기술해 보면 다음과 같다.

우선 대통령령으로 정하는 기준에 따라 사업실적, 기술력 등이 우수한 업체를 우수환경산업체로 지정하여 5년간 해외시장 진출 지원 및 재정지원을 우선적으로 할 수 있다. 또한 환경산업체가 환경산업 지원 및 육성의 구심체 역할을 할 수 있도록 법인화 내용이 수록되었는데 이를 위해 대·중소기업 교류 및 세계 환경시장 선점 지원을 주 업무로 하는 환경산업협회가 설립되었다.

환경업체 간 협업 및 공동기술개발, Test-Bed지원 등을 통한 환경산업의 원천기술 개발 및 해외 진출 촉진을 도모하기 위해 환경산업진흥단지 조성에 관한 내용이 포함되며 현행 법 제5조의 2는 '환경산업의 해외시장 진출 지원'을 환경부 산하 한국환경산업기술원의 고유 기능으로 명시하고 있으나 기초조사와 마스터플랜 이후의 실행 프로그램에 대해서는 보다 구체적 지원이 필요한 것으로 보인다.

환경업체의 해외진출 지원을 위한 보다 구체적인 실행 프로그램을 몇 가지 살펴보면 환경부에서는 우수 중소환경기업 해외수출 기업화 사업을 추진 중으로 매년 중소중견 수출형 환경기업 15개사 내외를 선정하여 기업당 2억 원 이내를 지원하는 내용으로 되어 있다. 또한 현재 중국 현지 시장수요에 탄력적으로 대처한다는 목적하에 한중 환경산업 시장정보망을 구축운영하고 한중 환경산업센터는 중소기업체 인큐베이팅 서비스를 제공하며 중국 환경시장 진출지원의 일환으로 향후 2년동안 우리나라의 우수한 대기오염 방지기술을 중국 내 제철소에 적용하는 실증 협력사업을 추진하고 있다.

또한 환경부는 중국의 제13차 5개년 계획기간 세부 진출 전략을 마련 중이며 상해, 요녕, 북경, 산

둥, 사천, 호북, 광둥, 하북, 절강, 섬서 등 10개 최우선 중점진출 지역 및 중점 진출분야로 선정하고 있다. 특히 하북성, 산서성, 산둥성, 섬서성, 광둥성 등 환경개선 및 기업진출 수요가 높은 지역과의 협력채널을 확대하여 실무위원회를 운영해 나갈 방침이며 한·중 공동 실증협력사업 확산을 위해 중국 투자개발 사업모델을 개발하고 중국 진출 국내 환경기업을 대상으로 위험관리 자문 프로그램을 운영하고 있다.

지자체 및 공공기관의 지원활동으로는 최근 모 지방환경공단과 물 관련 업체가 중국 업체 및 공기업과 4억 위안(685억 원)규모의 한·중 환경기업 합자경영계약을 체결한 사례 등을 들 수 있고 그 밖에 한국 환경산업기술원, 환경산업협회, 한국환경공단 등 관련기관들이 해외사무소 및 협력센터 운영, 한중 비즈니스 포럼 및 상담회, 국제기구와 연계사업 등 해외진출 지원 사업을 추진하고 있다.

2. 중국 진출 시사점

시사점을 논하기에 앞서 국내 환경산업의 중국 시장 진출 경쟁력을 간략히 분석해 보면 강점으로는 지리적으로 근접하고 문화적으로 친숙하며 환경부(2015)에 따르면 최고 기술력 보유국의 77.9%로 초강의 기술력은 아니지만 중국과 같은 수요에 적합한 기술력을 보유하고 있으나 반면 약점으로는 국내 환경산업체의 97%가 중소기업으로 구성되어 있어 자금 및 매출 규모면에서 영세한 구조적 문제점을 나타내고 있으며 품질 대비 낮은 인지도와 더불어 핵심기술이 미흡한 편이다.

외부여건을 살펴보면 심각한 오염으로 중국정부에서 삼폐(三廢)분야를 중심으로 대규모 투자를 계획하고 있는 등 환경시장이 연 15~20% 내외로 급성장하고 있으며 중국자체 기술력 미흡으로 해외업체의 진출여지가 큰 반면 대형 다국적 환경업체와 경쟁이 치열하여 결국 저가 경쟁의 상황이 되고 있고 인증, 현지유통망 설립 규제 등 한·중 FTA 체결 이후 비관세 장벽이 날로 강화되고 있는 실정이다.

다음으로 국내 환경업체 대상의 설문조사와 국내외 환경업체의 중국진출 사례분석을 종합하여 국내 환경산업의 중국진출 지원정책과 관련된 시사점을 도출해 보기로 한다.

우선 선행연구(한국환경산업협회 2005; 이용필 2009)를 활용한 분석을 통해 정부지원과 관련된 진출성공 및 실패요인을 살펴보면 정부지원이 성공요인으로 작용한 사례로는 Economic Development Cooperation Fund(EDCF) 소액 차관 및 정부차관의 적절한 활용, 현지정보의 수집 및 제공, 마케팅 측면 지원, 타당성조사 무상지원, 현지 네트워크 지원 등을 들 수 있고 실패 사례로는 국내업체 간 과당경쟁, 중국 지방부의 투명성 및 일관성 결여, 현지파트너 문제 및 서류작성의 미흡, 불공정한 경쟁유도에 의한 불이익 등을 들 수 있다.

설문조사는 2016년 7월~8월 초 중 중국에 기 진출했거나 진출계획이 있는 국내환경관련업체를 대상으로 중국 진출 현황 및 진출 장애요인 그리고 지원필요사항에 대해 실시하였는데 발송된 설문지는 총 534부이며 회수부수는 61부로 응답률은 11.4%였다. 기업규모별로는 대기업이 16.4%, 중소기업 및 중견 기업이 83.6%를 차지하였으며 75.4%가 중국시장 진출경험이 있고 진출형태는 직수출이

Ⅲ. 연구논단

[표 2] 중국 환경시장 성공 및 실패 사례(정부지원과 관련 내용 발췌)

구분	성공(실패)요인	(국가) 사업분야	세부내용
성공 사례	차관의 활용	(한국) 하폐수 처리장 건설	EDCF 소액차관 활용 프로젝트 성사
		(한국) 쓰레기 소각장 건설	입찰공사에 차관공여
	정보지원	(프랑스) 급 오수처리 설비공사	프랑스 주 중 위원 원회의 정보지원
		(한국) 폐수처리시설 제작	주 중 대사관의 정보지원
	타당성조사 무상지원	(유럽) 하수처리설비	타당성조사 무상지원금 제공
	유관기관의 지원	(한국) 하수처리장 시설공사	한중환경산업센터의 중재역할
관시를 통한 수주	(유럽) 대기오염방지설비공사	지방정부와의 관시를 활용한 영업망 구축	
실패 사례	국내업체간 과당경쟁	(한국) 퇴비화 프로젝트	국내중소업체 간 출혈경쟁
	지방정부의 투명성 결여	(한국) 청소기 제조	관련 행정 및 법률의 불합리한 적용
		(한국) 상수도 건설	불공정한 경쟁유도
	신용조사 및 서류작성미비	(한국) 환경상품 제조	현지대리점의 폐업 및 계약 불이행

출처: 한국환경산업협회(2005); 이용필 (2009)의 자료를 이용하여 재작성.

60.7%, 현지생산법인 설립 23%, 판매법인 설립 13.1%의 순으로 집계되었다.

중국의 공략대상 세부지역은 화동권역(42.6%), 화북(18%), 동북(8.2%), 화남(4.9%) 등의 순으로 나타났다. 진출분야는 환경설비 및 기자재가 대다수(90.2%)를 차지하였으며 그 외 폐기물 처리 및 이용(8.2%), 수처리 및 수질정화(3.3%), 대기정화(1.6%)로 분류되었다.

중국진출에 가장 큰 애로사항은 진출관련 정보 및 자금부족이며 그 밖에 현지법률 및 법규, 관세 및 통관, 현지경쟁, 홍보 및 마케팅, 검인증 획득이 주요장애요인으로 조사되었고 정부지원이 필요한 사항으로는 현지법률 및 경쟁업체정보 등의 진출정보지원(62.1%), 자금지원(36%), 까다로운 현지 규제 등 비관세 장벽 완화 (26.1%), 인증획득지원(11.4%), 홍보 및 마케팅 지원 (8.2%), 관세인하 (8.2%) 등의 순으로 조사되었다. 참고로 애로사항 및 지원필요사항은 복수응답이 가능하도록 설계되었다.

[표 3] 국내 환경기업의 중국진출 애로사항 (복수응답 가능)

구분	진출 정보	자금 부족	관세 및 통관	현지 법률	현지 경쟁	홍보 및 마케팅	검인증 획득	기타	없음
전체기업 (61개사)	34.4%	31.1%	29.5%	27.9%	18%	16.4%	14.8%	4.9%	11.5%

출처: 자체조사.

이상의 고찰을 토대로 국내 환경중소업체의 중국시장진출을 지원하기 위한 정책차원의 시사점은 다음과 같이 요약할 수 있다. 우선 가장 지원이 필요한 부분은 진출정보제공으로 시장정보 외에도 변화가 많은 중국환경법률 및 정책, 현지경쟁업체정보 등의 신속한 전파가 필요할 것으로 보인다.

[표 4] 중국환경시장 진출을 위한 정부지원 필요사항 (복수응답가능)

구분		주요 세부내용(단위: %)				
진출정보 (62.1%)	시장동향 (14.7)	법률 정보 (13.1)	경쟁업체 정보 (13.1)	현지 환경정책 및 규제 (9.8)	바이어정보 (4.9)	인증 정보 (4.9)
자금지원 (36%)	정책자금지원 (21.4)	수출지원 재원조성 (9.8)	원가절감 제도개선 (1.6)	환율정책 (1.6)	금리인하 1.6)	
비관세장벽완화 (26.1%)	통관절차 완화 (13.1)	현지규제 완화 (9.8)	인증기준 완화 (1.6)	현지유통시설 설립 기준완화 (1.6)		
인증획득지원 (11.4%)			세부 분류내용 없음			
홍보 및 마케팅 지원 (8.2%)	현지전시회 참가지원 (4.9)			바이어 매칭 지원 (3.3)		
관세인하 (8.2%)			세부 분류내용 없음			

출처: 자체조사.

다. 자금부족은 중소기업체가 대부분인 국내 환경산업 현황에 비추어 여전히 난제로 남아있으며 그 외 통관, 인증기준, 현지 설립 기준 등 비관세 장벽이 현안으로 대두되고 있음을 파악할 수 있다. 특히 인증획득 지원이 요구되고 중소기업입장에서는 현지 마케팅 활동에 대한 여력이 여전히 부족한 상태이며 자금에 대해서는 직접적인 자금지원 외에도 재원조성 및 금리인하나 환율정책 그리고 원가절감을 위한 제도적 지원이 절실한 것으로 분석되고 있다. 더불어 날로 과열되고 있는 현지 경쟁에 대한 효율적인 지원대책이 시급한 것으로 보인다.

V. 중국 환경 시장 진출지원 정책 방안

국내 환경기업의 대부분을 차지하고 있는 중소기업은 상대적으로 해외진출에 제약이 많을 수밖에 없으며 특히 중국 시장 진출에는 관시문화와 높은 진입장벽, 기술 유출 및 투자금 회수 우려 등 많은 한계와 리스크가 존재한다는 점은 주지해야 할 사항으로 정부 및 관련기관의 지원이 절실한 곳이 중국 환경시장이다. 이에 분석내용과 시사점을 바탕으로 정부차원에서 지원할 수 있는 현실적이고 효과적인 정책에 대해 제언하고자 하며 제안 내용은 현행 정책의 취약점을 보다 시급히 개선할 필요가 있는 정책위주로 기술하였고 상당 부분 중소기업의 중국 진출뿐 아니라 그 외 해외 시장 진출에도 적용될 만한 내용임을 첨언한다.

우선 시사점에서 나타난 세부정책을 논하기에 앞서 개선되어야 할 사항은 지원조직 및 역할의 정비이다. 환경산업 해외진출 지원을 위해서는 효율적인 조직 및 제도의 틀이 갖추어져 있어야 하

Ⅲ. 연구논단

나 현재는 환경부, 산업통상자원부 등 많은 정부부처 등이 다양하게 연관되어 있고 유관기관들이 해외진출이나 수출지원 이름하에 산발적으로 지원제도를 시행하고 있어 실상은 업체들에게 혼란을 가중시키고 불필요한 중복지원과 성과 없는 행사성 지원 등이 남발되는 사례가 허다한 실정이다. 특히 한-중 FTA 체결 이후 이를 활용한 중국진출 지원 사업들이 각 부처 및 기관에서 우후죽순으로 발표 시행되고 있어 자원과 예산의 낭비가 초래될 여지가 충분하며 비효율성을 가져올 가능성이 크므로 이에 대한 조정작업이 선행되어야 할 것으로 보인다.

이의 개선을 위해서는 환경부 산하의 해외진출 지원 전담기관을 단일 지정하여 역할을 일원화시키고 전담기관 내 중국진출 Task Force(TF)를 특화 실행조직으로 구성하여 운영하는 등 실제적인 권한과 역할을 강화하는 것이 필요하다. 전담기관은 고유의 지원기능 외에도 실패사례에서 보듯이 국내업체 간의 출혈경쟁을 조정하고 제재할 수 있는 권한도 보유, 시행하여야 할 것이며 또한 필요 시에는 전담기관을 중심으로 관련 부처가 수평적으로 협력하는 전사적 형태가 되어야 할 것이다. 중국 TF는 중국환경시장이 급속도의 성장세를 보일 것으로 기대되는 향후 5년간의 진출 기회를 최대한 포착하여 집중적인 지원을 제공하는 것을 목적으로 하며 취지에 부합하도록 외부 개방형 인사를 포함한 분야별 전문가 조직으로 구성되어 실제적인 One-Stop 지원이 가능하도록 운영되어야 할 것이다.

부가하여 전담기관의 권한 강화에 맞추어 부여된 역할과 재원을 적절히 행사하는지를 정기적으로 체크하고 개선안을 수시로 제시할 수 있는 감독기관을 필수 지정하여 Devil's Check를 도모해야 한다.

둘째 정보지원에 있어서는 정보의 차별화와 등급별 제공 체계가 필요하다. 중국의 환경산업이 급성장하고 다수의 환경 프로젝트 추진이 예상되는 향후 5년간의 중국 시장공략 관건 중의 하나는 정보이며 현재 중국환경산업정보망 등 온라인을 통해 중국 진출정보를 제공하고 있지만 보완되어야 할 사항이 있을 것으로 파악된다. 통상의 시장정보 외에 한-중 FTA 협상타결 후에 더욱 중요시되고 있는 인증, 통관 등 비관세 조치와 각국의 대응방안 등에 대해 면밀하게 조사하고 신속하게 전파하는 것이 필요하며 중국 환경 정책 시행 및 관련 프로젝트 발주는 지방정부별로 시행 발주되는 경우가 많으므로 지방정부와 정보공유 시스템 구축을 통해 세부정보를 실시간으로 분석하여 전파해 주어야 한다.

더불어 프로젝트 발주에 있어서는 공개정보보다는 미공개 정보단서를 누가 빨리 확보하고 적절히 대응하는가가 매우 중요하므로 정보력의 한계가 있는 중소기업체의 입장에서 볼 때 정부에서 다양한 경로의 네트워크를 통해 신속히 해당정보를 수집하고 적시에 전파해주는 지원시스템이 필요할 것임은 물론이다. 더구나 중국 환경산업은 정책을 통해 방향을 미리 제시하고 시범 프로젝트를 시행한 성과에 따라 비로소 법제화를 통해 시장이 급속히 확대되는 형태를 띠므로 관련 정책의 단초를 먼저 파악하여 적시에 발 빠르게 시장에 진입하는 것이 중요하다. 현재 미공개 정보의 수집은 미흡하고 전파방법의 개선도 필요하며 수집된 정보가 적격의 업체에게 제시시간에 전파되어 활용될 수 있도록 보다 전략적인 운영이 요구된다. 즉 정보의 내용과 질에 따라 공개등급을 분류하고 등급에 따라 해당정보가 전달되어야 할 대상에게 올바르게 전달되도록 해야 한다. 미공개 정보의 무작

위 전파는 오히려 해가 될 수 있기 때문이다. 미공개 정보전파방법은 온라인망보다는 연관업체 및 정부기관으로 구성된 분야별 협의체 및 대중소 컨소시엄을 구성하여 오프라인망을 통해 공유하는 것이 적합하며 온라인망은 공개정보 위주로 오프라인은 선별적 정보전파의 형식으로 병행 운영하는 것이 바람직하다.

셋째 투자비 회수에 10년 이상의 장시간이 소요되는 BOT 방식이 주류를 이루고 있는 중국 환경 프로젝트 특정상 중소기업 입장에서 가장 큰 난제로 대두되고 있는 자금부문에 대해서는 중국 등 해외진출을 포괄한 환경산업 전반의 발전을 위해 전력이나 재난기금과 유사한 환경산업기금 조성이 필요할 것으로 보인다. 기본적 조성방법은 환경과 관련된 모든 세금이나 부담금의 일정 %를 환경기금으로 의무적으로 적립하는 방식과 병행하여 민간 주도의 환경산업 펀드조성을 생각해 볼 수 있다. 중국 환경시장의 주역이 되고 있는 삼폐(三廢)분야를 중심으로 중국 대기, 물, 폐기물 펀드를 분야별로 구성하고 환경부 기금뿐 아니라 해당분야 시장진출과 관련있는 대·중소업체, 금융기관, 지방정부 등이 참여하여 자금력이 부족한 중소기업들의 중국진출을 리드하는 형식의 지원이 필요하다.

관련하여 환경분야는 아니지만 일본의 해외자원개발 사례에서 보듯이 펀드 조성 시 정부가 대다수의 지분을 보유하여 주도적으로 이끌고 가는 형태보다는 정부는 펀드 구성의 시발점 등 역할을 하고 민간분야의 참여를 높여 실질적으로 이들이 대다수의 지분을 보유하고 추진해 나가는 형태가 보다 바람직할 것이다. 또한 펀드를 활용한 사업을 통해 창출한 수익금 중 일부는 다시 펀드에 의무적으로 환원케 하여 펀드가 지속적으로 운영될 수 있도록 해야 할 것이다.

그 외 국내에 진출해 있는 GCF 등 국제기구 및 아시아 개발은행(Asian Development Bank: ADB), 다자개발은행(Multilateral Development Bank: MDB) 등과의 협약을 통한 조성방안을 들 수 있는데 정부의 선도적 역할이 필요하며 일례로 일본은 ADB 등과 협력해 7억 5천만 달러 규모의 환경산업펀드조성을 이미 추진 중이다.

다음으로 중국과의 비즈니스에서는 알려져 있다시피 폭넓고 다양한 관시 구축이 매우 중요하지만 중소기업 입장에서 해외 비즈니스 네트워크를 구축하는 것이 가장 힘든 일 중 하나이므로 정부 차원의 지원이 필요한 부분이다.

해외 네트워크 구축방법에는 정부의 외교경로를 활용하는 방법과 선행연구에서 일부 제안된 민간 협력, 분야별 전문가 네트워크 구축 외에 본 연구에서는 중국 지방정부와의 네트워킹 구축 강화를 제안하고자 한다. 중국의 경우 환경정책 시행 및 해당 프로젝트 발주는 지방정부별로 발주하는 경우가 많으므로 우리나라 지자체와 중국 지방정부와의 유대관계를 강화하는 것이 중요할 것으로 보이며 산둥성 및 베이징 등과 기 추진하고 있는 형태의 협력 외에도 일본 기타규수 지방정부의 예와 같이 기술협력 채널을 통해 중국 지방정부의 환경계획 수립 및 이행단계에서부터 참여하고 이러한 형태의 협력이 주요 공략대상 지역인 내륙지역 등으로 확대되어야 할 것이다. 또한 환경분야로 제한 하지 말고 상호 윈-윈의 시너지 효과가 있도록 중국 지방정부와 국내 지자체 간의 포괄적 협력네트워크를 구축함으로써 환경산업은 물론 연관산업의 파급효과까지 얻을 수 있을 것이며 이런 다각도의 공식적 협력망이 현지의 까다로운 규제적용 등 비관세 장벽에 대해 협의하고 완화시

Ⅲ. 연구논단

키는 효율적인 창구가 될 수 있을 것으로 보인다. 그 외 중국 환경문제에 대해 입김이 강해지고 있는 중국 환경 Non-Governmental Organization(NGO)와의 협력을 공고히 하여 중국환경시장 진출에 발판으로 활용하는 것도 좋은 방안 중의 하나가 될 것이다.

해외 협력채널 외에도 정부 및 유관기관에서 컨트롤 기능을 담당하면서 국내업체 간의 협력관계를 구축하는 것도 긴급하며 일례로 상기 제안한 환경 펀드 구성 시 연관 대·중소업체들이 각자 지분을 투자하고 컨소시엄 형식으로 참여할 수 있도록 펀드 참가 업체에 대해 세제 등 인센티브를 유인정책을 제공함으로써 해외 프로젝트 대·중소 동반진출의 전, 후방 효과는 물론 시장진입에 필요한 실적을 제고할 수 있을 것으로 사료된다.

끝으로 중국이라는 시장에 국한하지 않고 국내 중소환경업체의 전반적인 해외진출 역량을 강화한다는 취지의 해당 육성정책은 상당한 개선이 필요한 것으로 보인다. 정부에서는 2010년부터 환경 기술을 개발하고도 사업화 전략 미흡, 자금확보 등에 어려움을 겪고 있는 중소기업체를 위해 사업화 단계에 따른 맞춤형 지원사업을 추진하고는 있으나 기술개발 지원에 편중되어 있어 해외시장진출을 위한 보다 체계적이고 일사불란한 실행 지원 프로그램이 부족한 것으로 분석된다.

개선방안으로는 중국 시장 진출을 목표로 하는 업체의 진출 역량을 기술개발과 마케팅 능력뿐 아니라 매출액, 인력 등을 종합적으로 평가하여 인큐베이터 단계, 수출 초보, 수출진입, 진입확대, 일류기업 단계로 분류하고 각 단계에 맞는 중국시장 공략 프로그램을 구상하여 3년 내외의 기간으로 차별화된 지원을 제공하는 방식이다. 예를 들어 관련 특허 또는 우수기술보유업체는 진입단계로 분류하여 시제품부터 제작하여 시장에 선보일 수 있도록 하고 직수출을 넘어 현지진출하려는 업체는 진입확대의 단계로 법인설립 및 사무공간 지원부터 우선 제공해야 할 것이다. 또한 업체별 전담컨설턴트 배정시 마케팅을 준비와 이행단계로 구분하여 시장진출에 앞서 국내 및 중국 해당지역 및 품목 전문가를 전담인력으로 배정하여 국내현황과 타겟시장 현황을 종합 고려한 중장기 진출전략 마스터 플랜을 우선 구축하고 이 플랜에 의거 계획된 전략 하에 치밀하고 발 빠르게 타겟 시장에 접근해 나가는 것이 주효할 것으로 보인다. 이를 위해 정부에서는 패키지 지원 프로그램을 전체적으로 정책총괄기능을 수행하되 실 지원업무는 역할분담된 조직이 전문성과 재량권을 보유하면서 운영해 나가도록 하는 것이 바람직하다.

중국진출의 수많은 실패사례에서 보듯이 초기의 서류작성에서부터 계약으로 인한 분쟁, 현지관행 및 법률 미 숙지로 인한 문제 등 수많은 위험이 산재해 있어 중소기업의 혼자 힘으로 모든 것을 체크하고 대비하기는 도저히 역부족일 것이다. 따라서 각 분야별 전문가 지원그룹을 형성하여 필요할 때마다 실시간으로 해당 전문가 지원을 시의적절하게 제공받을 수 있도록 해야 한다.

또한 중국을 포함한 중소기업의 해외진출에 있어 가장 중요한 요소 중 하나는 인. 검증 취득이라고 할 수 있으며 상당 비용이 소요되는 취득 비용 지원 또는 무이자 대출이 필요하며 통번역 등 실무적 지원도 필요하다. 인·검증과 더불어 해외 대형 또는 유망 발주처에 대해서는 경우에 따라 벤더등록이 필수 요건이 될 수 있고 중국도 벤더등록이 확대될 것으로 보이나 중소기업의 자력으로 복잡한 서류 및 절차들을 스스로 숙지하여 등록하기가 실제로 매우 어렵다는 점이다. 따라서 인·검증 지원과 더불어 벤더등록을 공기관의 해외 조직망 등을 활용하여 효율적으로 지원하는 것도

매우 필요한 사항이다. 예를 들어 중국을 포함한 전 세계 100개 이상의 조직망을 보유하고 있는 KOTRA를 통해 유망 발주처를 발굴하고 해당 조직망의 지원으로 효율적으로 벤더등록을 지원할 수 있을 것이다.

그 외 상시 활용할 수 있는 현지 사무공간 및 인력도 중소기업체의 타겟시장 진출에 있어 필요한 부분이나 현재는 베이징 1곳에만 한중환경산업센터 내에서 사무공간 제공을 위주로 하는 인큐베이터 서비스를 제공하고 있는 실정이다. 중국 환경 프로젝트는 지방정부별로 발주하고 오염정도가 심한 내륙지방의 경우 환경정화 시장이 더욱 확대될 것으로 보이므로 이들 지역에 인큐베이터 센터를 추가 설치할 필요가 있으며 사무공간이라는 하드웨어적인 제공뿐 아니라 현지 발주정보 발굴 및 공유, 발주처와의 공신력 있는 협상지원, 현지 유관기관과의 네트워크를 이용한 복합적 연계지원, 현지진출에 필요한 법률, 회계, 마케팅 자문 제공, 공동수주에 따른 관련업체 간의 역할분담에 의한 시너지 성과 제고 등의 멀티 기능을 수행하여야 할 것으로 보인다.

VI. 결론요약

세계 환경시장의 블루오션으로 부각되면서 향후 5년간 최대의 성장세를 보일 것으로 기대되는 중국 환경보호 시장을 적시에 효과적으로 공략하기 위해서는 국내환경산업의 절대다수를 차지하고 있는 중소기업체 현황에 맞춘 특화형 지원정책이 시급한 것으로 보인다.

설문 및 사례 분석결과 국내 중소기업체들이 중국환경시장 공략을 위해 가장 필요한 정책을 선호도에 근거하여 순위별로 살펴보면 우선 무엇보다 수시로 변경되는 중국환경법률 및 정책, 현지경쟁업체 현황 등 현장형 핵심정보의 신속한 제공이 필요하고 그다음으로 분야를 막론하고 대부분의 중소기업체들의 현안인 자금지원 그리고 중국 환경규제 강화 추세에 맞춰 한층 까다로워진 인증·통관, 현지설립규정 등 비관세 장벽에 대한 정부차원의 지원이 시급한 것으로 나타났으며 동 분석결과에 따라 정책적 지원이 필요한 세부 분야에 대해 현장형 지원정책을 다음과 같이 제안하였다.

첫째 세부정책에 앞서 해외 환경시장 진출을 위한 지원조직과 역할의 정비가 필요하며 이를 위해 환경산업 해외진출지원 전담기관 단일지정 및 역할 일원화, 그리고 중국진출 지원 전담기능으로서 외부 개방형 인사조직을 포함한 중국진출 TF 구성 및 Devil's Check 기능을 강조하였다.

가장 시급한 지원분야로 파악된 정보제공에 대해서는 정보의 차별화와 등급별 정보체계가 효과적이며 통상적인 시장정보 외에 비관세 조치 및 각국의 대응방안 등 현안으로 대두된 사항에 대한 집중 분석 및 환경프로젝트의 발주처인 중국지방정부와의 정보공유 시스템 구축 그리고 미공개 정보의 신속한 입수와 등급별 제공 등이 요구된다. 또한 중소기업 공통의 난제로 대두되는 자금지원 은 환경문제가 사회구성원 전체의 공감을 이끌어 낼 수 있는 이슈라는 특성을 활용하여 전력이나 재난기금과 유사한 형태의 환경기금을 조성함으로써 해외시장진출 지원 자금원으로 사용하고 더불어 대·중소 및 관련기관이 주도가 되어 중국 환경시장의 주역이 되고 있는 삼폐(三廢)분야별로

Ⅲ. 연구논단

컨소시엄 형태의 펀드를 구성하는 것을 고려해 볼만하다.

또한 중국 비즈니스 환경의 특징 중 하나인 관시문화와 현안인 비관세 장벽에 대한 대비 및 지원의 일환으로 환경정책의 실제 시행 및 발주처인 중국 내륙지방 등 지방정부와 국내 지자체 간의 협력네트워킹 구축을 통해 지방정부의 환경계획 수립단계부터 참여하는 것이 효과적이며 이러한 협력망은 비관세 장벽현안을 수시로 협의하고 효과적으로 완화시킬 수 있는 창구도 될 수 있다고 주장하였다. 부가하여 중국환경문제에 대해 Opinion Leader로서의 역할이 증대되고 있는 중국 환경 NGO들과의 긴밀한 협력은 중국 환경시장 진출의 좋은 발판이 될 수 있을 것으로 보이며 해외 협력 채널뿐 아니라 국내 대중소업체 간의 정규의 협력망 구축을 통해 대·중소 동반진출 및 산업 간 전후방효과를 제고해야 할 것이며 이러한 대·중소 컨소시엄의 활성화를 위해서는 참여업체에 대한 세제혜택 등 다양한 인센티브 유인책 제공이 필요하다.

마지막으로 중소환경업체의 해외진출 역량강화 및 육성정책은 종합적인 역량진단 및 단계별 분류, 단계와 업체 특성에 맞는 3년 내외의 중국 시장 공략 프로그램 설계, 진출준비와 이행단계 구분 및 국내, 중국 현지 전문가의 Two-Way 방식의 전담 컨설팅을 제안하였으며 복잡한 절차와 상당한 비용이 수반되는 인증과 벤더등록은 취득비용지원과 더불어 중국 현지의 해외조직망을 갖춘 KOTRA 등을 활용하여 효과적으로 지원할 수 있다. 현재 베이징 한 곳 뿐인 환경업체 중국 현지인큐베이터 기능도 오염정도가 심한 내륙지방을 기반으로 확대하고 사무공간이라는 하드웨어뿐 아니라 현지 발주정보 발굴 및 공유, 발주처와의 현지네트워킹, 입주업체간의 역할분담에 기반한 공동수주 등 멀티기능을 수행하여 중국환경시장진출을 위한 현지거점으로서의 역할을 해 내가야 할 것으로 보인다.

본 연구에서는 지원정책과 산업현장이 이분론적으로 갈 수 있는 오류를 최대한 방지하고 개선하여 업계 수요에 맞춘 보다 현실적인 정책방향을 모색하기 위해 설문 및 사례분석의 연구방법을 사용하여 독창적이면서도 실행 가능한 정책방안을 발굴, 제안하였으나 보다 과학적인 분석 및 연구방법 적용 등이 상당 부족한 측면이 있다. 미흡한 부분에 대해서는 향후 추가 연구를 통해 보완하고자 하며 동 연구가 중국뿐 아니라 인도, 동남아, 중동 등 차세대 환경시장 공략을 위한 정책추진에 있어서도 참고할 만한 자료가 되기를 기대한다.

참고문헌

- 강택구. 2016. "중국발 대기오염 대응협력을 위한 지방정부의 역할." 『세계와 도시』 13, 56-65.
- 강현희. 2014. "중국의 중점 환경산업으로 떠오르고 있는 대기정화시장과 토양정화시장.", <https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/6/globalBbsDataView.do?setIdx=322&dataIdx=137349> (검색일: 2016.07.01).
- 곽배성. 2016. "환경선진국을 변신을 꿈꾸는 중국." 『POSRI 이슈리포트』 2016(3), 94-103.
- 김홍석. 2013. "환경산업 해외시장 진출지원 정책과 향후 지원방향." 『한국대기환경학회지』 29(1), 105-115.
- 문익준 외. 2013. 『중국의 녹색성장 전략과 한·중 무역에 대한 시사점』. 서울: 대외경제정책연구원.
- 워터저널. 2016. "중국 환경시장 분야별 특징과 국내 환경산업 수출 활성화 방안." <http://waterjournal.blog.me/220645334312> (검색일: 2016.06.20).
- 윤이숙. 2009. "한중일 환경산업 기술발전과 정부역할." 『Jpi정책포럼』 18, 1-19.
- 윤주환. 2016. "해외진출 지원방안 제안." <http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=30321> (검색일: 2016.07.11.).

이용필. 2009. "한국환경기업의 중국진출 전략에 관한 연구." 경희대학교 석사 학위 논문.
 이종수. 2016. "쑥쑥 커가는 중국 환경시장을 잡아라." 『투데이 에너지』 (4월 14일).
 이종실. 2016. "중국 땅 10분 1남게 심각한 오염." 『나우뉴스』 (4월 22일).
 임지훈. 2016. "환경산업펀드 中, 日은 뛰는데 韓 첫발도 못뚫다." 『서울경제』 (7월 3일).
 장경수 외. 2015. "한국과 중국의 경제성장이 한국의 미세먼지에 미치는 영향분석." 『환경정책』 23(1), 97-117.
 정영근 외. 2008. "환경 산업의 국제화 연구." 『질서경제저널』 11(1), 67-83.
 정지원 외. 2012. "녹색기후기금 평가체제 논의동향과 대응방안." 『환경정책』 20(2), 97-125.
 정지현 외. 2015. 『중국 환경시장 분야별 특징 및 지역별 협력방안』. 세종: 대외경제정책연구원.
 주연위. 2015. "중국의 환경오염 실태와 대응방안에 관한 연구." 호남대학교 석사 학위 논문.
 중화인민공화국국가통계국. 2015. 『2015 중국통계연감』 베이징: 중국통계출판사.
 최현진. 2014. "중국, 역사상 가장 엄격한 신환경보호법 2015년 시행." <https://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/5/globalBbsDataView.do?setIdx=244&dataIdx=152981> (검색일: 2016.07.01).
 한국환경산업협회. 2005. 『국내․외 환경산업체의 중국진출 성공․실패 사례 분석 연구』. 과천시: 환경부.
 환경부. 2015. 『환경백서 2015』. 세종시: 환경부.
 _____. 2016. 『2014년 기준 환경산업 통계조사 보고서』. 세종시: 환경부.
 환경부 외. 2014. "중국 도시고형폐기물 에너지화 사업 진출 전략." 해외환경통합정보시스템.
 _____. 2015a. "중국토양정화 시장분석 및 진출전략." 해외환경통합정보시스템.
 _____. 2015b. "중국 대기오염 저감설비 시장분석 및 진출전략." 해외환경통합정보시스템.
 _____. 2015c. "중국 친환경 고품 폐기물 처리시스템 시장분석 및 진출전략." 해외환경통합정보시스템.
 _____. 2015d. "중국 수처리 부품․장비 시장분석 및 진출전략." 해외환경통합정보시스템.
 HKTDC. 2015. "China's Environmental Market."
<http://china-trade-research.hktdc.com/business-news/article/China-Consumer-Market/China-s-Environmental-Market/ccm/en/1/1X000000/1X002L45.htm> (검색일: 2016. 06. 23).
 IBIS World. 2016. "Hazardous Waste Management in China: Market Research Report."
<https://www.ibisworld.com/industry/china/hazardous-waste-management.html> (검색일: 2016. 06. 30).
 KOTRA 중국지역본부. 2012. "물 부족 국가 순위 하위의 중국-중수산업에서 물 부족 해결방안 찾는다."
<http://todaychina.blog.me/110139947407> (검색일: 2016. 06. 06).

I. 권역별 연구

II. 연구성과

III. 연구논단

IV. 특집

V. 국내외 정책 · 기술 동향

VI. 그린스쿨 주요 활동 및 일정

Ⅲ. 연구논단



AHP 기법을 적용한 스마트그리드 기술사업화 촉진요인 간 중요도 분석*

이 준 성 | 고려대학교 그린스쿨대학원 박사과정

Comparison of Commercialization Factors of Smart Grids Technologies with AHPs

Junseong Lee | Ph.D. Candidate, Green School, Korea University

초록

Smart grid is regarded as the representative of new energy industries in Korea because it has the potential to transform the entire conventional power industry to a new industry, applying Information and Communication Technologies(CT) into the power grids. There are several factors that affect the transfer and commercialization of smart grids technologies and it is important to find where to place more priority with limited resources. The analytic hierarchy process(AHP) has been widely used around the world to provide comprehensive and rational solutions in a wide variety of decision situations. As it is based on the group decision making, it is not taken as a correct decision, but the best decision. This study is believed to come up with the best decision framework through an AHP application regarding comparison among a wide variety of commercialization factors of smart grids technologies.

주제어: AHP, 기술사업화, 에너지신산업, 스마트그리드, 중요도 가중치

I. 서론

스마트그리드 기술은 대표적인 에너지신산업 항목으로 해당분야의 기술개발뿐만 아니라 사업화를 위한 노력이 가속되고 있다. 스마트그리드의 개념(Concept)은 “기존의 전력망에 ICT 기술을 접목하여, 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 전력정보를 교환함으로써 에너지효율을 최적화하는 차세대 전력망으로 정의되고 있으며,”(지식경제부 2010, 1) 우리나라뿐만 아니라 전세계에서 신시장 창출을 위한 모멘텀으로 스마트그리드 기술을 활용하고자 경쟁적으로 투자를 확대하고 있다.

미국, 일본 등 주요선도국들은 2010년을 전후로 대규모 스마트그리드 실증 프로젝트를 착수하였

* 본 기고는 2016년 『신재생에너지』 제12권 제3호에 게재된 논문의 전문임.

고, 현재 점차 가시적인 성과를 발생시키고 있다. 우리나라도 2009년 6월 착수되고 2013년 6월에 종료된 대규모 스마트그리드 제주실증사업 성과에 대한 다양한 평가가 내려지고 있다. 그러나 제주 실증사업 성과에 대한 대부분의 평가는 투입량에 대한 산출량과 같이 1차원적인 접근이 주를 이루는 것으로 판단된다(이준성 2016, 41).

윤문섭(2009)은 에너지기술혁신은 일반 기술혁신 과정과 유사하나 실증단계에서 검증이 중요시 되는 점과 표준화된 시장보급단계에 있어서는 정부규제 및 인증이 중요시되는 점이 다르다. 이 점에 착안해 새로운 정책수단을 발굴해야 한다고 주장하였다. 홍정만(2011)의 연구에서도 에너지기술 투자분야에서 정책적인 요소의 중요성은 강조되고 있다.

이러한 연구들은 일반 에너지기술혁신분야가 아직까지는 일반 재화시장에서 일반적으로 적용되는 Philip Kotler의 인식(Awareness), 관심(Interest), 평가(Evaluation), 시도(Trial), 그리고 수용(Adoption) 단계의 소비자 수용 모델(Consumer Adoption Model)이 적용되지 않고, 정부 주도의 유틸리티와 기반산업의 특징인 규제산업의 환경에 놓여있음을 의미한다. 그럼에도 불구하고, 아직까지는 스마트그리드 분야의 기술사업화 촉진요소간 중요도를 정량적으로 측정하는 과학적인 접근법으로 연구된 사례는 확인되지 않는다.

본 연구는 다기준 의사결정기법 중 하나로 의사결정을 구성하는 요인들의 상대비교를 통해 상대적 중요도를 측정할 수 있는 계층화분석(Analytic Hierarchy Process: AHP)을 적용하여 스마트그리드 연구개발(Research and Development: R&D) 기술사업화 촉진요인간 중요도를 분석하고자 한다. 동 AHP 분석결과는 제주실증사업의 성과 및 한계에 과학적 신뢰도를 부여하고, 스마트그리드 비즈니스 생태계 모델 구축에 활용하고자 한다.

II. AHP 적용 사례 및 선행연구

본 연구는 다기준 의사결정기법 중 하나로 의사결정을 구성하는 요인들의 상대비교를 통해 상대적 중요도를 측정할 수 있는 AHP를 적용하여 스마트그리드 R&D 기술사업화 촉진요인간 중요도를 분석하고자 한다.

AHP는 1972년 Saaty에 의해 개발된 다기준 의사결정기법 중 하나로 의사결정을 구성하는 각 속성의 중요성, 대안간의 비교를 종합적으로 고려할 수 있는 의사결정 방법론이다. 의사결정이 필요한 문제를 구성하는 항목들을 계층화하고, 상위계층에 있는 하나의 요소의 관점에서 직계 하위계층에 있는 요소들 간의 상대적 중요도를 측정할 수 있다. 이때, 의사결정 계층구조를 구성하는 속성 간 상대적 중요도는 쌍대비교를 통해서 이루어진다. 궁극적으로 최하위 계층에 있는 대안들 간 우선순위를 구할 수 있으므로 전략적인 의사결정에 적합하다(이길우 외 2013, 93).

동 AHP 분석결과는 제주실증사업의 성과 및 한계에 과학적 신뢰도를 부여하고, 향후 스마트그리드 비즈니스 생태계 모델 구축에 활용하고자 한다.

Ⅲ. 연구논단

1. AHP 적용 해외 사례

AHP는 종합적인 의사결정을 위해서 국내외 다양한 영역에서 활용되고 있으며, 효용성을 인정받고 있다. 특히 미국을 비롯한 선진국의 공공분야를 포함해서 다양한 분야에서 의사결정 지원요소로 활용되었다.

[표 1] 해외 AHP 적용 사례

구분	사용자	내용
미국 (공공 분야)	North Carolina 주정부	Vendor 평가 우선순위 분석
	미 원자력규제위원회(NRC)	IT 자원 분배 우선순위
	연방재정기구시험위원회(FFIEC)	전략적 활동 우선순위
	미 국방부(DOD)	다양한 활동에 대한 자원배분
미국 (민간 분야)	미국 종합 서비스 행정부(GSA)	주요 정보통신 이니셔티브 우선순위 선정
	North Atlantic 포드 자동차	오일 발굴을 위한 최적 플랫폼 타입 선정 고객만족도 향상을 위한 우선순위
터키	IBM	컴퓨터 설계 우선순위 선정
영국	터키 정부	Adapazari (터키도시) 재선정 우선순위
	영국항공(British Airways)	엔터테인먼트 시스템 공급자 선정 우선순위

출처: Saaty (2008)의 내용을 표로 재구성.

2. AHP 국내 선행연구

국내에서도 의사결정요소 간 상대적 중요도가 AHP를 통해 수치적으로 도출됨에 따라 다양한 분야에 해당기법이 적용되고 연구되었다. 정택영 외(2011)은 과학기술 출연(연)의 지식관리 성과측정 평가를 위해 1계층을 정보체계구축, 성과활용 및 홍보, 지식관리 과정영역 성과, 지식관리 결과영역성과로 분류하고 2계층으로 기술인프라 등 총 8개 평가항목을 제시하여 평가항목들의 가중치를 제시하였다.

이미숙 외(2010)은 대학 및 공공기관에서 기업에 기술을 이전할 때 영향을 주는 요인 간 상대적 중요도를 1계층 기술요인, 조직요인, 환경요인, 전략요인으로 구성하고, 2계층으로 기술개발능력 필요 등 총 12개 평가항목으로 구분하여 가중치를 도출하였다. 이길우 외(2013)은 국가연구개발사업의 기술이전사업화를 제고하기 위해 AHP 평가기법을 적용하였다. 1계층으로는 사업화 기업 제도보완 및 기술금융 활성화, 특허사업화모델 확립 및 확대, 기술이전 전담조직(Technology Licensing Office: TLO)의 전문성 강화, TLO의 네트워크 구축의 4개 평가항목과, 2계층 평가항목으로 사업화 전문회사 지정 및 운영 등 12개 평가항목을 통해 각 평가항목들의 우선순위를 평가하였다.

3. AHP 에너지분야 적용 선행연구 사례

에너지분야에서도 의사결정을 위한 평가기법으로 최근 AHP 분석기법이 많이 도입되고 있다. 이동엽 외(2002)가 AHP 기법이 의사결정자의 오랜 경험이나 직관 등을 평가의 바탕으로 하고 있어 정성적 평가기준들이 비교적 쉽게 비교평가 될 수 있다는 장점을 제시하였는데, 이 장점이 에너지 관련 의사결정 지원도구로 다양하게 활용되고 있다.

[표 2] 에너지기술분야 AHP 적용 국내외 주요 선행연구

구분	내용	
해외 선행 연구	Jaber et al.(2008) 연구	- 가정 난방 에너지로 신재생에너지 경제적 타당성 분석
	Nigim et al.(2004) 연구	- 주거지역내 에너지 공급원 최적 비율 결정방법 제시
		- 특성이 다른 다양한 에너지 자원에 대해서 AHP 적용을 통해 빠른 시간에 동일한 기준으로 평가할 수 있는 방법 제시
	Haydar et al.(2004) 연구	- 풍력 발전소 위치 선정 우선순위 분석
		- 자연환경을 관측하여 최적의 위치를 결정하고, 단기간 에너지 확보를 위해 최적 위치 선정 평가방법 제시
	Aran Carrion et al.(2008) 연구	- 기존 전력선에 연결된 태양광 발전 설비의 최적 위치 선정 의사결정 방법 제시
	Lee et al.(2009) 연구	- 태양광발전 프로젝트 선정을 위한 기회, 비용, 위험평가를 위해 AHP 평가방법 제시
	Terrados et al.(2009) 연구	- 에너지 계획 수립 모델 및 에너지 계획 수립을 위한 hybrid methodology 방식의 AHP 제시
국내 선행 연구	Heo et al.(2010) 연구	- 한국의 신재생에너지 확산정책을 위한 평가 요소를 AHP 기법 적용
	장기윤(2010) 연구	- 기업차원에서 신재생에너지 분야에 진출하기 위한 평가기준 제시
	이수주(2010)연구	- 풍력발전 시 요구되는 요인들의 상대적 가중치 제시
	홍정만(2011)연구	- 민간기업의 신재생에너지 평가항목에 대한 연구

출처: 홍정만(2011)의 내용을 표로 재구성.

4. AHP 선행연구 분석결과

AHP는 설문대상의 오랜 경험이나 인사이트 등을 바탕으로 의사결정문제에서 다소 다루기 어려운 문제에 대한 종합적인 의사결정을 위해서 국내외 다양한 영역에서 활용되고 있으며, 효용성을 인정받고 있다. 민간분야는 물론 공공분야에서 많은 선행연구가 진행되었고, 실제 의사결정에 활용되었다.

에너지분야에서도 AHP 기법은 적극 활용되었는데, 이는 에너지기술이 가진 대규모·중장기 투자에 따른 투자의 비가역성 존재, 기반사업의 특성으로 인한 정책요소 영향 등과 같은 투자의 불확

Ⅲ. 연구논단

실성이 큰 분야임으로 해당분야의 인사이트를 확보한 전문가들의 종합적인 의사결정이 필요했기 때문으로 해석된다.

스마트그리드는 기존의 에너지분야의 특수성을 여전히 지니면서도, 대표적 신기술인 정보통신 기술(Information Communication Technology: ICT)의 접목으로 인해 혁신기술분야의 범주에 진입하고 있다. 따라서, 본 장에서는 AHP 기법을 적용하여 스마트그리드 기술사업화 주요 요인간의 상대적 중요도를 확인하고자 한다. 이는 스마트그리드 기술사업화에 무엇이 우선적으로 고려되어야 하는 지에 대한 정성적 답변을 가능하게 할 것으로 판단된다.

Ⅲ. 스마트그리드 기술사업화 요인 가중치 산정을 위한 AHP 설문

1. AHP 설문개요

본 설문의 목적은 스마트그리드 기술개발사업(실증포함)의 사업화에 대한 의사결정요인 들 간의 가중치를 도출하여 중요도를 판단하는 것이다. AHP는 앞에서 살펴본 바와 같이 비교적 손쉽게 의사결정 요소들의 중요성을 종합적으로 판단할 수 있다는 장점으로 다양한 연구가 진행되었음을 알 수 있다. 에너지분야에서 홍정만(2011)에서 민간기업의 신재생에너지 도입의사결정을 위한 사업타당성 평가기준에 대해 의사결정 요인별 가중치를 도출하였으나, 스마트그리드 분야는 2010년부터 본격적으로 착수된 신기술분야로 AHP가 적용되어 분석된 연구는 존재하지 않는다.

기존 연구와의 차별성을 위해 본 설문지는 실제 스마트그리드 기술개발을 추진(2000~2015년)하였거나, 현재 추진중인 연구자의 관점에서 스마트그리드 사업화에 필수적인 요인으로 한정하였다. 따라서 설문대상은 스마트그리드 기술개발 수행자 또는 수행기관에 소속되어 스마트그리드 기술개발사업에 깊은 이해가 있는 전문가로 한정하였다. 설문대상이 원천기술보다는 사업화 및 상용화를 목표로 하는 스마트그리드 기술개발사업에 참여하였거나, 기획에 참여했던 전문가들로 구성되어 전체적으로 산업계와 연구계의 비중이 다수를 차지한 것으로 판단된다.

설문기간은 2016년 5월 16일부터 6월 17일까지 총 5주간 진행되었으며, 설문방법은 설문대상에게 동 내용의 목적 및 방법을 설명한 후, 대면 또는 이메일로 설문지를 작성하여 송부하는 형식으로 진행되었다. 설문내용의 일관성 수치를 확인하여, 미흡한 경우 재설명을 통해 설문을 반복하는 형태로 일관성 수치를 제고하였다.

2. AHP 설문지 구성 사전검토

스마트그리드 R&D 기술사업화 주요 요인들에 대한 설문지는 정부에서 수립한 「제5차 기술이전·사업화 촉진계획(2015~2017)」, 스마트그리드 실증사업의 기술사업화의 성과 및 한계를 분석한

주요 이슈보고서의 검토 및 분석을 통해 도출하였다.

선행연구 및 관련 문헌조사에서 기술사업화 촉진요소(지표)에서 일반 연구개발성과의 기술사업화 요소와는 명확한 차이를 나타내었는데, 이는 에너지기술의 특성인 국가 기반사업, 규제사업의 특성이 크게 영향을 미치고 있기 때문으로 분석되었다. 특히, 아래의 주요요인 검토사항 중 스마트그리드 제주실증사업의 추적조사 설문조사 결과가 실질적인 사업화촉진요소에 대한 직접적인 조사에 따라 해당내용이 AHP 설문지 지표구성에 중점 반영되었다.

1) 「제5차 기술이전·사업화 촉진계획(2015~2017)」 검토

정부(산업통상자원부장관)는 ‘기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률(이하 기촉법) 제5조’를 바탕으로 관계중앙행정기관(기획재정부·미래창조과학부·교육부·문화체육관광부·농림축산식품부·보건복지부·환경부·국토교통부·해양수산부·방위사업청)으로부터 통보받은 계획을 종합하여 3년을 단위로 하는 촉진계획을 수립하고 기술이전 및 사업화를 법·제도적으로 활성화하기 위해 노력하고 있다.

제5차 기술이전·사업화 촉진계획(이하 “촉진계획”)의 핵심은 기술거래시장의 작동 원활화, 공공연의 기술마케팅 역량 증진, 사업화 가능성이 높은 맞춤형 기술공급, 초기 사업화 기업의 성장 여건 마련이라는 4개의 추진전략으로 구성된다. 본 설문은 스마트그리드 기술사업화를 위해 연관성이 높은 부분은 기술거래시장의 작동원활화와 사업화 가능성이 높은 맞춤형 기술공급으로 볼 수 있다.

2) 제주실증사업 주요 성과보고서 분석을 통한 기술사업화 주요요인 검토

AHP 설문지 지표 구성을 위해 스마트그리드 R&D 기술사업화 촉진 요소들과 기술사업화의 한계를 정리한 주요 보고서 및 연구들을 검토하였다.

스마트그리드사업단이 실시한 제주 스마트그리드 실증사업 참여기업 추적조사 성과보고서에 따르면, 실증사업의 주요성과로 인프라구축과 기술검증, BM(Business Model) 발굴 등을 제시하였다. 동 추적보고서는 제주실증사업을 통해 스마트계량기술, 실시간 거래기술, 신재생 연계기술 등 153개 기술이 검증되었고, 수요반응, 전기차충전 서비스 등 9개 사업모델이 발굴되었다고 평가하고, 스마트가전, 전기차 렌트카, 빌딩에너지관리, 공장에너지관리, 지능형수요관리 등 6개 사업화모델이 지속적으로 추진되면서 실증사업 종료 이후에 스마트그리드 관련 시장규모가 확대되기 시작되었다고 주장하고 있다.

한국에너지기술평가원 성과보고서는 제주 스마트그리드 실증사업의 성과 및 한계분석을 토대로 스마트그리드 사업성공을 위한 정부의 정책방향을 구체적으로 제시하고 있다는 점이 기존의 보고서와의 차별성을 보인다. 이는 스마트그리드 사업이 정부정책과의 연관성이 매우 높은 전력사업에 근간을 두고 있고 전력시장의 개방과 같은 이슈가 정부정책에 의해서 결정된다는 점을 고려한 측면이 있다고 하겠다.

Ⅲ. 연구논단

3) 2014 산업기술 R&D 전략보고서 및 2014 에너지기술 이노베이션 로드맵 검토

2014 산업기술 R&D 전략보고서 (산업통상자원 R&D 전략기획단 2014)에서는 ‘스마트그리드 산업’을 스마트그리드를 구축하고 운영하는 사업을 영위하는 ‘기반구축 산업’과 스마트그리드의 구축, 운영 및 관련 서비스를 제공하기 위하여 필요한 기기, 제품 등을 제조하는 ‘제조 산업’, 마지막으로 기반구축 산업 및 제조 산업의 기반 위에 소비자에게 관련 서비스를 제공하는 사업하는 ‘서비스 제공산업’으로 크게 3개의 산업군으로 구분하였다. 동 보고서에서는 스마트그리드의 상용화(기술사업화)를 위해 다음의 추진전략을 ‘기술개발 및 산업화 지원’, ‘법·제도적 기반 구축’, ‘전략적 국제협력’을 제시하였다. ‘기술개발 및 산업화 지원’을 위한 세부 방안으로 스마트그리드 핵심 기술 및 시스템 우선확보, 실증사업을 통해 확보한 기술 및 사업모델의 상용화 추진, 내수 활성화 지원 및 해외시장 진출 지원, 혁신이 용이한 산업생태계 구축이 제시되었다.

‘법·제도적 기반 구축’ 방안으로는 비현실적 요금제도 등 지속 불가능한 제도 개선, 신기술의 시장 진입을 위한 관련법령 개정 및 제도 보완 추진, 상호운용성 시험 및 인증 시스템 구축, 마지막으로 표준, 보안, 안전, ICT 등 공통영역 기반 기술 지원을 제시하였다.

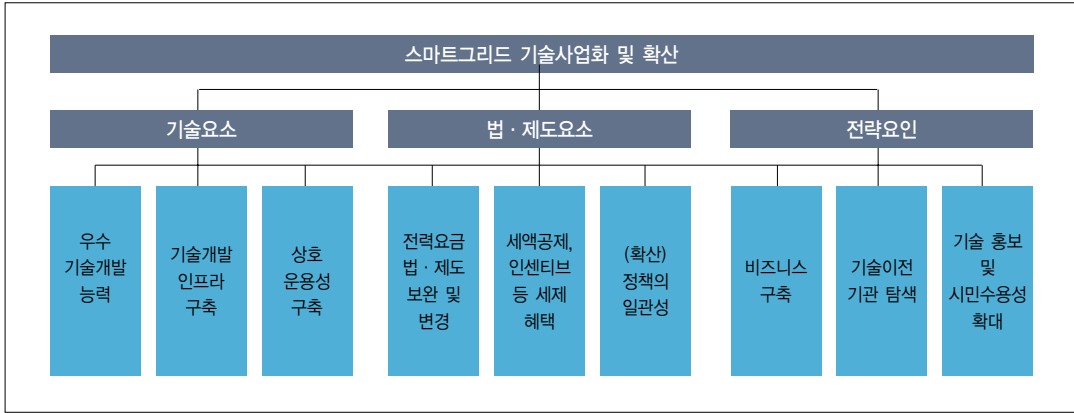
2014 에너지기술 이노베이션 로드맵 (한국에너지기술평가원 2014)에서는 스마트그리드 기술사업화를 위해서는 지속적인 기술혁신과 더불어 기술개발사업과 정부에서 추진중인 스마트그리드 확산사업과의 연계성 강화로 시너지를 창출해야 한다고 설명하고 있다. 정책적인 측면에서는 전력 소매시장 개방 및 열 거래제도를 도입해야 시장이 활성화 될 수 있다고 분석하고 있다.

3. 스마트그리드 기술사업화를 위한 AHP 설문지 구성

선행연구 및 문헌조사 분석 및 전문가 자문을 통해서 스마트그리드 기술사업화에 영향을 주는 요인 간 의사결정 계층구조를 구성하였다. 스마트그리드 기술사업화를 위한 AHP 설문지의 평가항목은 3개의 상위 평가항목(1계층)과 9개 하위 평가항목(2계층)으로 구성하였다. 1계층 상위 평가항목은 ‘기술요소’, ‘법·제도요소’, ‘사업화 전략요인’의 3개 항목으로 구성되었다.

1계층 상위 평가항목인 ‘기술요소’는 스마트그리드 사업화를 위한 기술적인 요인에 관한 내용으로 2계층 하위평가항목으로 ‘우수 기술개발 능력’, ‘기술개발 인프라 구축’, ‘상호운용성 구축’이 있다. ‘법·제도요소’는 스마트그리드가 전력계통 및 전력요금과 같은 관련 정책적인 요소로 2계층 하위평가항목에는 ‘전력요금 법·제도 보완 및 변경’, ‘세액공제, 인센티브 등 세제혜택’, ‘스마트그리드 확산정책의 일관성’으로 구성되어 있다. ‘사업화 전략요인’은 기업과 정부의 스마트그리드 기술의 사업화를 위한 전략에 관련된 내용으로 2계층 하위평가항목으로 ‘비즈니스 모델 구축’, ‘기술이전 기관탐색’, ‘기술홍보 및 시민수용성 확대’가 있다.

[그림 1] AHP 설문지 우선순위 평가항목 구성



[표 3] 스마트그리드 기술사업화 평가항목 구성 및 주요내용

평가항목 1계층	평가항목 2계층	정의 및 내용
기술요소	우수 기술개발 능력	- 시장이 요구하는 수준의 스마트그리드 제품* 및 서비스**를 적시에 개발할 수 있는 우수 기술 개발 능력 * 스마트미터, 스마트그리드 통신 및 기기 보안기술 등 ** 전력소비 스마트폰 실시간 안내, 부가서비스 등
	기술개발 인프라 구축	- 스마트그리드 시험설비, 테스트베드와 같이 기술을 개발하는데 필수적인 기반시설(인프라) 구축
	상호운용성 구축	- 스마트그리드 동일기기 또는 이종기기 및 시스템간 상호통신이 가능하여 상호 원활한 운용환경(Interoperability) 구축
법·제도 요소	전력요금 법·제도 보완 및 변경	- 스마트그리드 시장이 작동할 수 있는 시장친화형 전력요금 법·제도* 마련 및 시행 * 실시간요금제(TOU) 단계적 도입, 프로슈머 시장 및 소매 전력판매시장 개방 등
	세액 공제, 인센티브 등 세제 혜택	- 정부가 인정한 스마트그리드 설비 및 품목에 한하여 세액공제 및 정부 보조금 제공 * 美 : 전력공급설비 스마트그리드화 투자의 50% 보조금 제공 등
	확산 정책의 일관성	- 스마트그리드와 같은 에너지신산업이 성장할 수 있도록 정부의 확산정책의 지속성 및 일관성 확보
전략요인	비즈니스 모델 구축	- 에너지와 ICT 결합을 통한 다양한 융복합 비즈니스* 모델 발굴 및 시행 * 에너지 프로슈머, 전기차 충전 플랫폼 등
	기술 이전 기관 탐색	- 기술수요 기관에 대한 데이터베이스 구축 및 활용과 같이 기업차원 또는 정부차원의 기술수요 기관 탐색
	기술 홍보 및 시민 수용성 확대	- 스마트그리드 사용자 및 지역주민 등에 기술 수용성 확대를 위한 기술홍보(실증포함)를 통해 시민 인지도 및 수용성 확대

I. 권역별

II. 연구성과

III. 연구논단

IV. 특집

V. 국내외 정책·기술 동향

VI. 그린스쿨 주요 활동 및 일정

Ⅲ. 연구논단

Ⅳ. 스마트그리드 기술사업화 요인 가중치 산정을 위한 AHP 설문 분석결과

1. 스마트그리드 기술이전·사업화 활성화 요인 가중치 분석결과

1) 자료 및 분석방법

설문은 스마트그리드 기술개발사업을 참여하였거나, 참여한 기업에 소속되어 스마트그리드 기술, 사업화 및 정부 R&D에 대한 기본적인 이해도가 높은 전문가를 대상으로 실시하였다. 다양한 선행연구 및 보고서 분석을 통해 작성된 설문내역은 설문에 앞서, 산·학·연 전문가를 대상으로 추가적인 검증을 거쳐 설문의 완성도를 높였다.

덧붙여 설문에 앞서 설문지 항목에 대한 사전설명시 설문대상이 전문가 집단임에 따라 설문지에 대한 충분한 이해도를 보였다. 앞에서 언급한 바와 같이, AHP는 의사를 결정하는 방법임으로 설문자의 해당분야의 경험과 인사이트가 우선순위 평가의 토대가 됨으로 스마트그리드 전문가들의 설문참여는 동 연구의 신뢰도를 높이는 중요한 수단이다.

총 41명의 스마트그리드 전문가가 설문에 참여하였고, 응답한 전문가의 산·학·연 구성은 산업계 24명, 학계 5명, 연구계 10명, 기타(협회 및 공공기관) 2명으로 분류되었다. 설문대상이 원천기술보다는 사업화 및 상용화를 목표로 하는 스마트그리드 기술개발사업에 참여하였거나 기획에 참여했던 전문가들로 구성되어 전체적으로 산업계와 연구계의 비중이 다수를 차지한 것으로 판단된다.

의사결정요소가 계층으로 구성된 AHP 항목은 속성 간 상대적 중요가 쌍대비교 질문을 통해 이뤄진다. AHP 설문지의 평가항목은 3개의 상위 평가항목(1계층)과 9개 하위 평가항목(2계층)으로 구성되어, 비교적 쌍대비교가 복잡하지 않은 구조임에 따라 설문지 분석은 엑셀을 활용하였으며, 가중치 분배는 비교대상의 가중치를 모두 합하면 1이 되는 Distributive 모드를 채택하였다.

AHP 기법에서는 설문자료의 신뢰도를 판단하기 위해 각 설문지의 오차 정도를 측정할 수 있는 일관성비율(Consistency Ratio: CR)을 산출한다. 일반적으로 일관성비율은 0.1 이하가 되어야 판단의 일관성이 있고 설문 결과가 의미 있는 것으로 간주한다(홍정만 2011, 127). Saaty(1980)는 일반적으로 0.1이하의 할 경우 합리적인 평가, 0.2 이하일 경우는 허용할 수 있는 평가라고 하였다.

2) 항목별 가중치 산정결과

(1) 평가항목 1계층의 가중치 산정결과

1 계층 상위 평가항목 중 '법·제도요소'가 0.532으로 쌍대비교 대상인 '기술요소', '사업화 전력요인'에 비해 상대적으로 매우 높은 가중치를 보였다. '사업화 전략요인'이 0.263, '기술요인'은 0.205로 순서로 가중치가 낮아졌다. '법·제도요소'가 가장 높은 가중치를 확보한 점은 에너지기술이 정부규제에 따라 시장수요가 창출되고, 정부지원으로 공급기반이 구축된다는 윤문섭(2009)의 선행연구내용과 부합하는 결과로 판단된다.

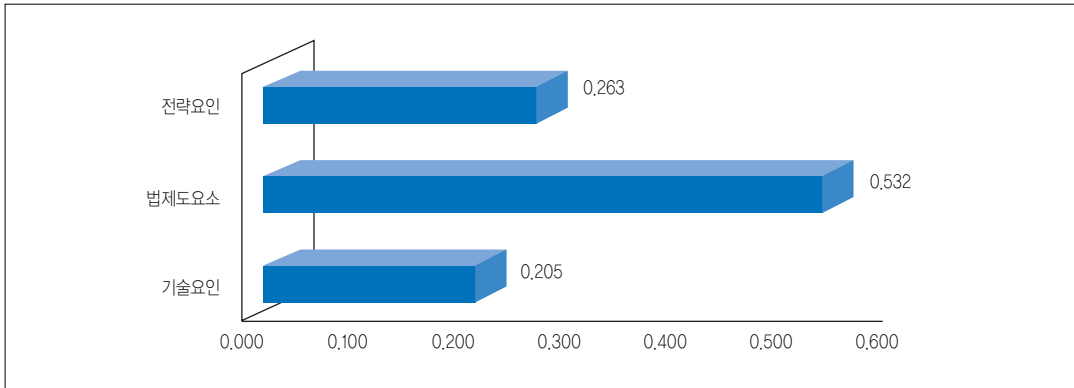
1 계층 상위 평가항목인 '기술요소', '법·제도요소', '사업화 전략요인' 간 쌍대비교의 CR은 0으로 Saaty(1980)가 제시한 합리적인 평가기준(0.1 이하)의 일관성 지수를 충족하여 동 설문자료의

신뢰성을 확보하였다.

[표 4] AHP 설문 평가항목(1계층) 가중치

평가항목 1계층	가중치(A)
기술요인	0.205
법제도요소	0.532
전략요인	0.263
합계	1.000

[그림 2] AHP 설문 평가항목(1계층) 가중치



(2) 평가항목 2계층의 9개 평가항목의 최종 가중치 산정결과

최종 가중치 산정결과 2계층 하위 9개 평가항목 중에서 '전력요금 법·제도 보완 및 변경'이 0.253으로 가장 높은 가중치를 점유하였으며, '스마트그리드 확산정책의 일관성'이 0.196, '비즈니스 모델 구축'이 0.154 순서로 높게 나타났다. 평가항목 1계층 가중치에서 '법·제도 요인'이 상대적으로 높은 가중치를 점유함에 따라 해당 계층의 2계층 평가항목이 최종 가중치 순위에서 최상위, 차상위 점유율을 보인것으로 판단된다. 이 또한 에너지기술이 정책적인 수단에 의해 창출될 수 있고, 규제적인 요소에 크게 영향을 받을 수 있음을 전문가들의 설문을 통해 확인할 수 있었다.

평가항목 2계층 요소에서 가중치 3순위를 차지한 '비즈니스 모델 구축'은 상위계층인 평가항목 1계층 요인 '전략요인'이 가중치가 0.252로 높지 않음에도 불구하고, 최종가중치가 상위권에 위치한다는 것은 스마트그리드 기술사업화 항목에서 '비즈니스 모델 구축'의 중요성을 보여주고 있다.

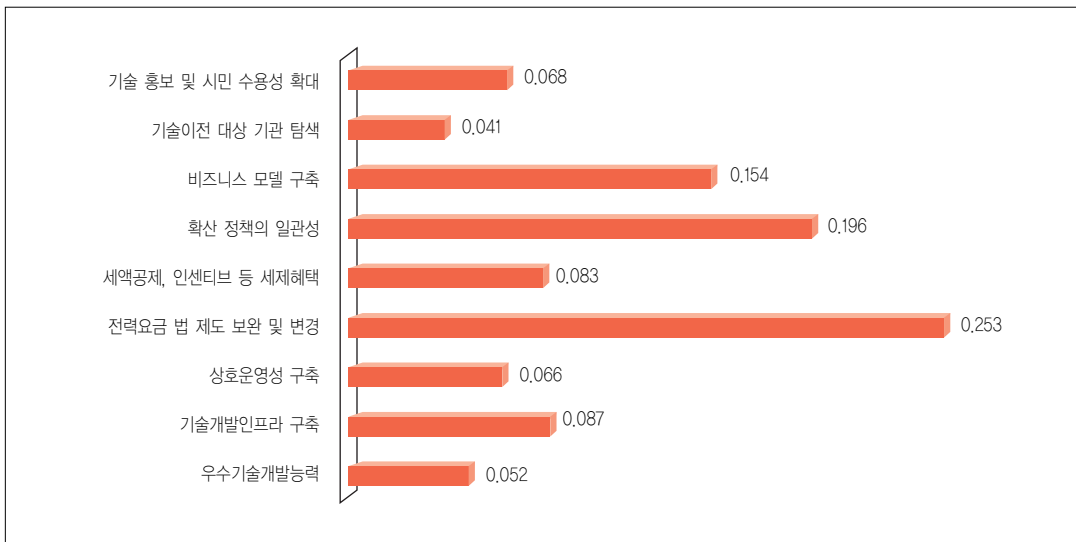
그 다음으로 '기술개발인프라 구축'이 0.087, '세액공제, 인센티브 등 세제혜택'이 0.083, '기술홍보 및 시민수용성 확대'가 0.068, '상호운용성 구축'이 0.066, '우수기술 개발능력'이 0.052, '기술이전 대상기관 탐색'이 0.041 순으로 나타났다.

Ⅲ. 연구논단

[표 5] AHP 설문 평가항목(2계층) 가중치

평가항목 (1계층)	가중치 (A)	평가항목 (2계층)	중분류 가중치(B)	최종 가중치(A*B)	순위
기술 요인	0.205	우수기술개발능력	0.253	0.052	8
		기술개발인프라 구축	0.423	0.087	4
		상호운용성 구축	0.324	0.066	7
법·제도 요인	0.532	전력요금 법 제도 보완 및 변경	0.475	0.253	1
		세액공제, 인센티브 등 세제혜택	0.157	0.083	5
		확산 정책의 일관성	0.369	0.196	2
전략 요인	0.263	비즈니스 모델 구축	0.585	0.154	3
		기술이전 대상 기관 탐색	0.157	0.041	9
		기술 홍보 및 시민 수용성 확대	0.258	0.068	6
합계			1.00	1.00	

[그림 3] AHP 설문 평가항목(1계층) 가중치



2계층 하위 평가항목 중 기술요인 하위평가항목인 우수기술개발능력, 기술개발인프라 구축, 상호운용성 구축간 쌍대비교의 CR은 0이며, 법제도요인의 하위평가항목인 전력요금 법·제도 보완 및 변경, 세액공제, 인센티브 등 세제혜택, 확산정책의 일관성간 쌍대비교의 CR도 0, 마지막으로 사업화 전략요인 하위평가항목인 비즈니스 모델 구축, 기술이전 기관탐색, 기술홍보 및 시민수용성 확대 간 쌍대비교의 CR도 0.01로 Saaty(1980)가 제시한 합리적인 평가기준(0.1 이하)의 일관성 지수를 충족하였다.

V. 결론 및 정책적 시사점

본 AHP 연구결과는 스마트그리드가 에너지산업의 대표로 부상하고는 있으나 여전히 기술사업화를 위한 과학적 연구가 미비했다는 점을 감안할 때, 기술사업화 촉진요소 간 정량적 우선순위를 제시했다는 점에서 의의를 가지며, 동 연구결과를 실제 스마트그리드 기술사업화의 문제 해결에 활용될 경우 기존의 단순 조사방식의 문제해결에서 보다 정교하고 종합적인 의사결정이 가능할 것으로 판단된다. 특히 스마트그리드 기술개발을 참여하였거나, 기획과정에 참여하였던 전문가집단을 설문대상으로 기술개발수행자(공급자) 측면의 기술사업화 요인들간 상대적인 중요도를 평가했다는 점은 설문의 신뢰성을 높이고 기존 기술이전·사업화 관련 연구와의 차별성을 확보하였다.

선행연구 및 문헌조사 분석 및 전문가 자문을 통해서 스마트그리드 기술사업화에 영향을 주는 요인 간 의사결정 계층구조를 3개의 상위 평가항목(1계층)과 9개 하위 평가항목(2계층)으로 구성하였다. 1계층 상위 평가항목은 '기술요소', '법·제도요소', '사업화 전략요인'이다. 2계층 하위평가항목에는 '기술요소'에 '우수 기술개발 능력', '기술개발 인프라 구축', '상호운용성 구축'이, '법·제도요소'는 '전력요금 법·제도 보완 및 변경', '세액공제, 인센티브 등 세제혜택', '스마트그리드 확산정책의 일관성'으로 구성되었으며, '사업화 전략요인'은 2계층 하위평가항목에는 비즈니스 모델 구축, 기술이전 기관탐색, 기술홍보 및 시민수용성 확대가 있다.

선행연구인 윤문섭(2009)은 에너지기술혁신은 일반 기술혁신 과정과 유사하나 실증단계에서 검증이 중요시되는 점과 표준화된 시장보급단계에 있어서는 정부규제 및 인증이 중요시된다고 설명하였는데 동 연구는 정책적 요인인 '법·제도요소(0.532)'으로 '사업화 전략요인(0.263)' 및 '기술요소(0.205)'보다 2배이상 높다는 정량적 연구결과로 에너지기술혁신 기술사업화 논리를 증빙하고 있다. 또한 최종 가중치 산정결과 2계층 하위 9개 평가항목 중에서도 '전력요금 법·제도 보완 및 변경'이 0.253으로 가장 높은 가중치를 점유하였으며, '스마트그리드 확산정책의 일관성'이 0.196이 차상위 가중치를 차지하고 있다는 점은 스마트그리드 기술사업화에 있어서 법·제도와 같은 정책적 요인의 중요성이 크다는 것을 의미한다.

상위계층인 평가항목 1계층 요인 '사업화 전략요인'이 가중치가 0.263으로 높지 않음에도 불구하고, 평가항목 2계층 9개 요소중 '비즈니스 모델 구축'이 최종가중치가 상위권(3위, 0.154)에 위치한다는 것은 스마트그리드 기술사업화 항목에서 '비즈니스 모델 구축'의 중요성이 확인되고 있다. 또한 '비즈니스 모델 구축'은 법·제도 요인과 같은 정책적 요인이 아닌 기업과 같은 기술개발수행자 및 사용자 측에서 자체적으로 발굴하고 구축하는 통제가능한 요소라는 점에서 의미를 갖는다.

본 연구결과는 기존 전력망과 ICT 연계를 통해 새로운 신시장을 창출하고자 하는 스마트그리드 기술개발사업의 투자 의사결정과 관련하여 몇 가지 중요한 시사점을 제시하고 있다. 첫째, 스마트그리드 기술사업화를 위해서는 자유로운 시장이 형성되어 선도적인 기술과 마케팅을 통해 시장을 선점하는 일반적인 산업과는 달리, 정부규제와 인증이 중요한 기반산업의 특성을 지니고 있으므로 기술개발과 동시에 새로운 정책적인 시장창출 노력이 병행되어야 한다. 둘째, 정책적인 요인에 크

Ⅲ. 연구논단

계 영향을 받는 시장의 특성이 AHP 분석결과 확인된 만큼, 시장확대에 대한 정부정책의 일관성이 담보되어야, 기업은 투자의 불확실성에서 벗어나 적극적인 투자를 시작할 수 있다. 마지막으로 기업차원에서는 기존의 전력시장의 비즈니스 모델을 탈피하여 ICT 및 사물인터넷(Internet of Things: IOT)과 같은 새로운 연계요소를 활용한 스마트그리드 시장에 맞는 비즈니스 모델을 적극적으로 발굴하여 시장선점을 위해 노력하여야 한다. 동 연구결과를 바탕으로 스마트그리드 기술사업화 비즈니스 생태계 구축에 대한 연구가 추가로 진행되었으면 한다.

참고문헌

- 산업통상자원부 외. 2014. 『2014 에너지기술 이노베이션 로드맵 총괄보고서』. 서울: 진한엠앤비.
- 산업통상자원 R&D 전략기획단. 2014. 『2014 산업기술 R&D 전략보고서』.
- 윤문섭. 2009. “수요중시 녹색기술 사업화 전략의 추진방안.” 『환경산업기술원』 Special Issue (1), 1-13.
- 이길우 외. 2013. 『국가연구개발사업 기술이전·사업화 제고 방안 연구』. 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 이동영 외. 2002. “AHP를 이용한 과학기술 부문별 국가연구개발 투자우선순위 선정.” 『기술혁신연구』 10(1), 83-97.
- 이미숙 외. 2010. “AHP를 활용한 기술이전 측정항목 중요도에 관한 연구: 국공립연구소 및 국립대학기술을 도입한 기업을 대상으로.” 『한국산학기술학회논문지』 11(8), 2785-2765.
- 이준성. 2016. “주요 선도국 스마트그리드 실증 추진전략 및 성과비교.” 『신재생에너지학회지』 12(2), 40-48.
- 정택영 외. 2010. “정부출연연구소의 지식관리 성과 평가항목 및 측정지표 개발.” 『한국IT서비스학회지』 10(4), 171-189.
- 지식경제부. 2010. 『스마트그리드 국가로드맵』.
- 홍정만. 2011. “AHP 기법을 적용한 민간 기업의 신재생에너지 평가항목에 대한 연구.” 『에너지경제연구』 10(1), 115-142.
- Saaty, Thomas L. 1980. 『The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation』. New York: McGraw-Hill.
- _____. 2008. “Decision Making with the Analytic Hierarchy Process.” 『International Journal of Services Sciences』 1(1), 83-98.

감사의 글

이 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(2016, 특화전문 대학원 연계 학연협력지원사업)의 일환으로 수행되었습니다.