



재생에너지 기반 섹터커플링(부문간 연계)을 통한 기후변화 대응 연구

윤성권^{*†} · 임현지^{**}

^{*}녹색에너지전략연구소 선임연구원, ^{**}녹색에너지전략연구소 연구원

A Study for Sector Coupling Based on Renewable Energy to Respond to Climate Change

Yun, Seong Gwon^{*†} and Im, Hyunji^{**}

^{*}Senior Researcher, Green Energy Strategy Institute, Seoul, Korea

^{**}Researcher, Green Energy Strategy Institute, Seoul, Korea

ABSTRACT

To reduce greenhouse gas (GHG) emissions, it is important not only to increase the share of renewable energy in the power sector, but also to decrease the proportion of fossil fuels in other sectors such as heating, transport, and industry. In this regard, sector coupling based on renewable energy which refers to the idea of integrating the heating, transport, and industry sectors with the power sector, utilizing renewable electricity surplus through infrastructure and storable energy (power, heat, hydrogen) has emerged as an effective measure. This integration could optimize the energy system in response to volatility of renewable energy and bring synergy to GHG reduction by decarbonizing other energy sectors in addition to the power sector. This study comprehensively examined the concept of sector coupling based on renewable energy, application method, and related research. Sector coupling could be considered in Korea, in developing a long-term GHG reduction strategy from a more integrated perspective.

Key words: Climate Change, GHG Reduction, Renewable Energy, Sector Coupling, Power-to-X

1. 서 론

2015년 채택된 파리협정에 따라 전세계는 급세기 지구 평균온도 상승 폭을 산업화 이전 대비 2°C 이하로 유지하고, 더 나아가 1.5°C 이하로 제한하기 위한 노력에 합의하였다. 온실가스 감축을 위한 추가적인 노력이 이루어지지 않는다면 지구온난화는 더욱 심화되어, 지구 평균온도는 4°C 이상 높아질 것으로 전망된다. IPCC 5차 보고서에 따르면 기후변화 원인은 자연적인 원인도 있지만, 화석연료 연소 및 산업공정으로부터 배출되는 인위적인 온실가스가 주요원인이다 (IPCC, 2014). 화석연료의 온실가스 배출량을 줄이기 위해서는 에너지 소비 자체를 줄이거나, 화석연료보다 탄소배출이 현저히 낮거나 탄소를 배출하지 않는 에너지를 사용해야 한다.

재생에너지는 기술진보 및 원가절감에 따라 경쟁력이 빠

르게 상승하면서 주요 국가들은 탄소를 배출하지 않는 재생 에너지를 적극적으로 확대하고 있다. 2018년 전세계적으로 108GW의 태양광이 신규로 설치되었고, 풍력은 51GW가 신규로 설치되었다. 재생에너지에 대한 신규 투자는 화석연료와 원자력 발전 설비용량 순증가분의 두 배 이상을 기록했다 (REN21, 2018). IEA의 ‘세계에너지전망 2018’에 따르면 향후 모든 시나리오에서 재생에너지 비중이 증가한다. 특히 발전부문은 기준 전망에서 재생에너지 비중이 2017년 24.7%에서 2040년 41.4%로 증가하고, 지속가능 개발 시나리오에서는 2040년 재생에너지 비중이 66.2%까지 늘어날 것이다 (IEA, 2018 a). 우리나라에서도 국민들의 안전, 환경에 대한 요구로 원자력과 석탄발전을 단계적으로 축소하고, 재생에너지를 확대하는 정책을 추진중이다. 제3차 에너지기본계획에서는 2040년 재생에너지 발전량 비중 목표를 30~35%로 확

[†] **Corresponding author:** seonggwon.yun@gesi.kr (H Business Park B, 25, Beobwon-ro 11-gil, Songpa-gu, Seoul, Korea, Tel.+82-2-552-0940)

Received May 3, 2019 / Revised June 3, 2019 / Accepted June 19, 2019

정하였다 (2030년 재생에너지 발전비중 목표는 20%). 2018년에 태양광 2.03 GW, 풍력 0.17 GW가 신규로 설치되어 목표치 1.7 GW를 초과 달성할 정도로 재생에너지 공급 속도가 빨라지고 있다.

하지만 재생에너지는 자연과 기상 조건에 따라 발전량이 달라지기에 본질적으로 간헐성, 변동성의 문제를 갖고 있다. 재생에너지 변동성 문제에 대응하기 위해서는 에너지 저장 기술을 활용하여 잉여전력을 저장해두었다가 전력이 부족할 때에 사용하거나, 발전부문에만 국한하지 않고 난방과 수송 같은 다른 에너지 부문에 이를 활용하는 섹터커플링도 있다. 풍력과 태양광의 잉여전력을 버리거나 출력제한 (Curtailment) 없이 저장 및 가스, 열 등으로 변환하는 기술을 통해 필요한 부문에서 활용하는 것이다. 섹터커플링은 발전부문 외에도 난방, 수송과 같은 다른 에너지 부문에 효율적으로 에너지를 이용할 수 있어서 재생에너지 변동성 대응 측면과 전력계통 유연성 확보 측면에도 도움이 된다.

재생에너지에 기반한 섹터커플링은 에너지 시스템을 최적화하고, 부문별 탈탄소화를 추구하여 온실가스 감축의 시너지 효과를 기대할 수 있다 (BMW, 2016). 온실가스 감축 관련 대부분 연구가 발전부문에만 초점을 맞추고 있다. 이는 난방, 수송, 산업과 같은 다른 부문의 온실가스 배출을 자칫 간과할 수 있다. 2030년 이후 장기적인 온실가스 감축을 위해서는 모든 부문의 경계를 통합하는 관점에서 접근할 필요가 있다.

본 연구에서는 온실가스 감축 및 기후변화 대응을 위해서 재생에너지에 기반한 섹터커플링의 개념, 적용 방안, 관련 연구 (시나리오), 변동성 대응 조치 등을 종합적으로 분석하였고, 향후 우리나라 섹터커플링 도입 및 장기적인 국내 온실가스 감축 정책과 방향을 설정하는데 시사점을 도출하였다.

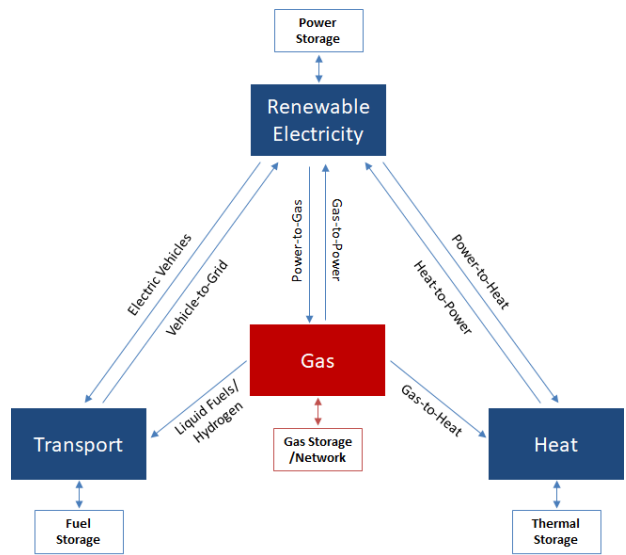
2. 섹터커플링

2.1 섹터커플링 배경 및 개념

섹터커플링은 인프라와 저장 가능한 에너지 (전력, 열, 수소)를 통해 발전, 난방 및 수송 부문을 연결하는 시스템을 말한다 (Kerstine, 2018). 기후변화 대응과 온실가스 감축을 위해 직접 또는 간접적으로 에너지 공급의 여러 분야에서 재생 에너지를 사용하여 에너지 시스템 최적화와 탈탄소화를 추구하는 것이다. 섹터커플링을 위한 전제조건으로 각기 다른 인프라 시스템, 시장, 규제 부문 간 경계가 깨져야 한다.

섹터커플링은 발전부문의 잉여전력을 다른 부문에서 활용

하기 때문에 P2X (Power-to-X) 기술이 기반이 된다. X는 가스, 연료/화학물질, 열 등이 될 수 있다. 아래 Fig 1에서 볼 수 있듯이 재생에너지 잉여 전력을 수소나 메탄과 같은 합성가스로 변환하여 저장하는 방식이 P2G (Power-to-Gas)이다 (Robinius et al, 2017). 저장된 가스는 필요시 다시 전력으로 변환할 수 있고, 열이나 수송 부문에 활용할 수도 있다. 둘째로 잉여 전력을 열 형태로 저장했다가 공간 냉난방, 온수 수요, 산업 공정에서의 냉난방 등으로 활용하는 방식이 P2H (Power-to-Heat)이다. 전력을 전기차 충전과 연계하여 재생에너지 변동성 문제에 대응하는 방식인 Power-to-Mobility도 있다 (BMW, 2015).



Source : Sterner et al (2014) Modified

Fig. 1. Concept of Sector Coupling.

재생에너지 기반 섹터커플링 개념은 독일 에너지전환 (Energiewende) 정책에서 처음 제시되었다. 독일은 2000년부터 재생에너지법 (EEG)을 도입하여 태양광과 풍력 공급을 촉진했다. 태양광과 풍력은 날씨 및 기상조건 등의 영향을 많이 받는다. 재생에너지 공급이 크게 확대되어도 기존 전력시스템과 같이 실시간으로 수요와 공급이 일치하도록 전력을 생산하는 데에는 한계가 있다 (Robinius et al, 2017). 따라서 재생에너지로 현재의 전력수요를 충족시키기 위해서는 더 많은 용량이 필요하고, 이에 수요를 초과할 시에는 전력이 남는 현상이 발생한다. 독일은 재생에너지 잉여전력을 활용할 수 있는 방법으로 섹터커플링을 검토하였다 (Acatech, 2018).

가장 보편적인 섹터커플링 사례는 재생에너지 잉여 전력

을 통해 발전과 난방부문을 연결하는 전기보일러나 히트펌프, 발전과 수송 부문을 연결하는 전기자동차가 있다. 난방과 수송부문에서 히트펌프와 배터리 구동 전기차와 같이 직접적으로 활용할 수도 있고, 변환을 통해 간접적으로 활용할 수 있다. 아래 Fig 2에 따르면 모든 경우 화석연료를 직접 사용하는 것보다 훨씬 높은 효율을 나타낸다 (BMW, 2015). 예를 들어 열 부문의 경우, 재생에너지 전력을 이용한 히트펌프 사용으로 화석연료를 대체할 수 있을 뿐만 아니라, 에너지효율도 향상시킬 수 있다.

2.2 섹터커플링 적용을 위한 부문별 전력화 (탈탄소화) 방법

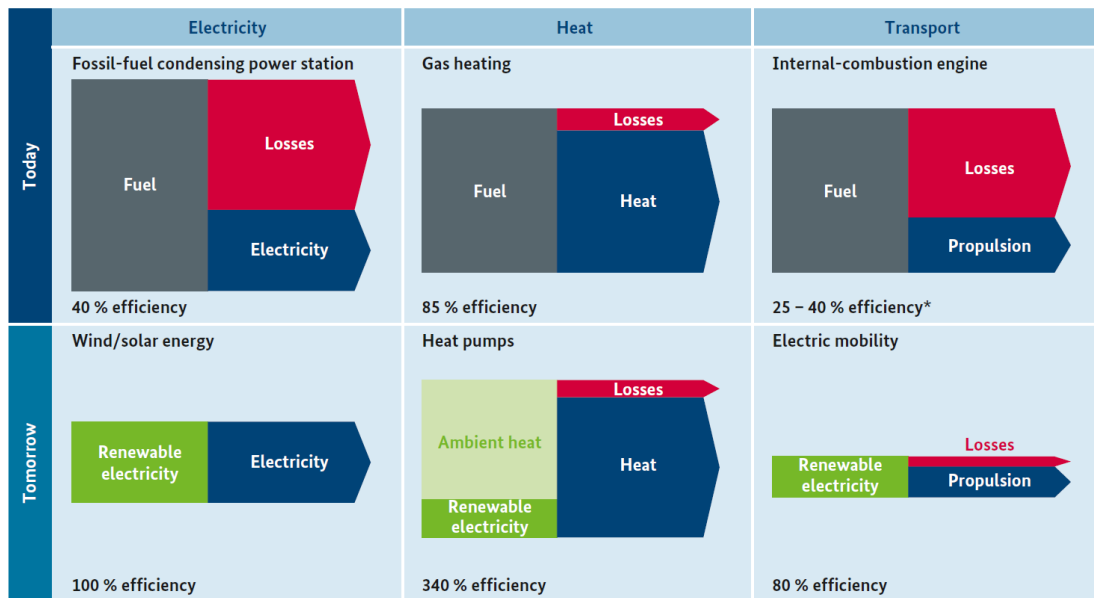
부문별로 재생에너지 기반 섹터커플링을 적용할 수 있도록 전력화하는 방법은 다음과 같다. 발전부문은 석탄, 천연가스, 원자력에서 생산한 전력을 풍력, 태양광, 바이오매스, 수력, 지열 발전소로 대체한다. 건물 난방부문은 바이오매스, 태양열, 지열, 히트펌프, 전기보일러, P2H, P2G 형태로 대체할 수 있다. 히트펌프는 난방부문을 전력기반 에너지시스템에 통합하는 핵심기술이다. P2H는 잉여전력을 사용하여 많은 양의 물을 가열하고, 지역난방 네트워크를 통해 순환시킨다. P2G 설비에서 전기분해를 통해 전기를 수소와 산소로 전환하고, 수소를 합성가스로 직접 사용하거나 메탄으로 변경해서 사용할 수 있다. 상대적으로 히트펌프가 적은 전력을 필

요로 하고, 전기보일러, P2G로 갈수록 많은 전력을 필요로 한다. 수송부문을 탈탄소화 할 수 있는 기술로는 압축천연가스 (CNG), 바이오연료, 배터리, 수소, 합성연료 등이 있다. 천연가스 및 바이오연료 사용과 별도로 모든 기술은 직접 또는 간접적으로 시스템과 연결될 수 있다. 전기차는 배터리나 가공선에서 직접 전기를 사용하기 때문에 상대적으로 적은 전력을 필요로 한다. 수소로부터 전기를 얻는 전기차는 더 많은 전력을 필요로 하고, Power to Gas (liquid)처럼 전력이 가스나 액체연료로 변환된 후 연소 엔진에서 사용되는 경우 더 많은 전력을 필요로 한다 (BMW, 2016). 탈탄소화 측면에서 산업공정 부문은 가스, 석유, 화학물질, 열, 전력 등 필요 여부에 따라 P2X (Power-to-X) 기술이 적용될 수 있다.

3. 섹터커플링 연구 동향

3.1 섹터커플링 적용현황

섹터커플링 관련 연구는 지역, 연계된 부문, 적용된 방법론, 재생에너지 기술 유형, 재생에너지 변동성 대응방법 등에 따라 다르다. 먼저 난방 (열)부문을 고려한 연구는 다음과 같다. Henning et al (2014)은 독일의 미래 재생에너지 중심 에너지시스템에서 발전부문과 열 부문에 대한 종합적인 모델을 구축했다. Nastasi et al (2016)은 미래 스마트에너지 시스템 전환을 위해 수소를 활용해 발전과 열 부문을 연계하는 연구



Source : BMWi (2015)

Fig. 2. Energy Efficiency and Substitute Fuels.

를 진행했다. 난방 (열)부문에서는 연료 사용으로 인한 탄소 배출량을 줄이기 위해 보다 효율적인 에너지 전환 방법을 활용할 수 있다. 모든 부문의 연계와 시스템 비용 등을 고려한 분석에 따르면 난방부문의 경우 직접 연소 기술보다 전기의 직접적 이용이 더 장점이 많은 것으로 나타났다.

다음으로 수송부문을 고려한 연구는 다음과 같다. Robinius et al (2017)은 독일에서 다양한 에너지원을 바탕으로 발전과 수송부문을 연결하기 위한 시나리오 분석을 실시하였다. Garmsiri et al (2014)은 풍력, 수소, 천연가스 파이프라인 시스템 통합으로 커뮤니티 공동체와 수송부문 에너지 수요를 충족하는 시스템을 구축하였다. Teng et al (2016)은 미래 영국 전력시스템에서 수송부문과 열 부문의 전력화가 전력시스템 유연성에 미치는 장점 등을 분석하였다. Emonts et al (2019)은 수송부문 친환경연료 공급을 위해 수소 기반 섹터커플링을 고려하였다. 수송부문에서 전기자동차는 재생 에너지 기반 전력을 효율적으로 사용할 수 있는 수단이다. 자동차 제조사에서도 전기차, 수소연료전지차 등을 고효율 무배출 운송수단의 가장 실용적인 옵션으로 간주하고 있다.

그 외에 Klein et al (2018)은 남아프리카공화국에 재생에너지 발전비중이 확대될 시 전력시스템 유연성 옵션으로 P2G, P2H 등을 분석하였다. Brown et al (2018)은 재생에너지 발전비중이 높아졌을 때 전력시스템 통합을 위해 섹터커플링과 전력계통 보강 두 가지 옵션을 비교분석 하였다. Brown et al (2019)은 유럽의 높은 재생에너지 시스템에서 이

산화탄소 배출 제로를 위한 부문간 상호작용을 검토하였다.

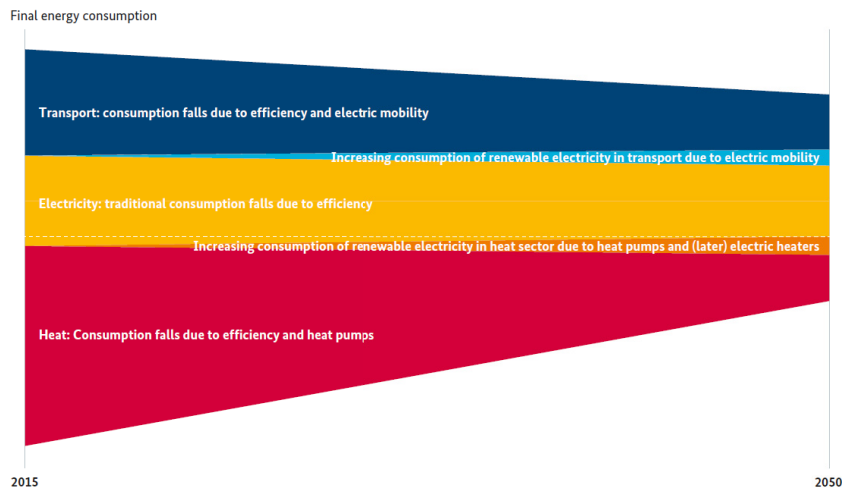
한편, 모든 에너지 사용 분야가 전력화될 경우 Power-to-X 공정에서 얼마나 많은 전력이 필요할 것인가에 대한 연구도 독일을 중심으로 진행되고 있다. 2016년 기준 독일의 전력소비량이 516 TWh인데 반해, 2012년 이전에 수행된 연구는 2050년에 전력소비가 약 600 TWh에 머무를 것으로 예측했으며, 이후에는 더 다양한 요인들이 반영되어 2040~2050년에 1,000~3,000 TWh로 나타날 것으로 분석하였다. 특히 Volker (2016)는 태양광, 풍력과 같이 변동하는 재생에너지로 일 년 내내 전력을 공급하기 위해 대용량 저장장치가 필요하며, 많은 변환 및 저장 손실을 고려하여 시나리오를 적용한 결과 연간 전력소비를 약 3,120 TWh로 계산하였다. 더 야심차게 에너지 시스템 최적화를 반영하고, 저장장치뿐만 아니라 기존의 가스망을 최대한 활용할 경우 전체 전력소비는 약 1,320 TWh로 감소한다. BMWi (2015)는 섹터커플링 적용으로 전력소비는 증가할 것으로 예상되지만, 전체 시스템에서 에너지효율이 개선되어 1차 에너지 소비는 감소할 것으로 분석하였다. 아래 Fig 3은 재생에너지 전력을 사용한 히트 펌프와 전기 구동차로 2050년 전력 소비는 증가하지만, 이것이 열과 수송부문의 석유와 가스를 대체함으로써 최종에너지 소비는 줄어들게 되는 것을 보여준다.

3.2 재생에너지 변동성 대응 조치

섹터커플링은 재생에너지 잉여전력 활용 등 변동성 문제

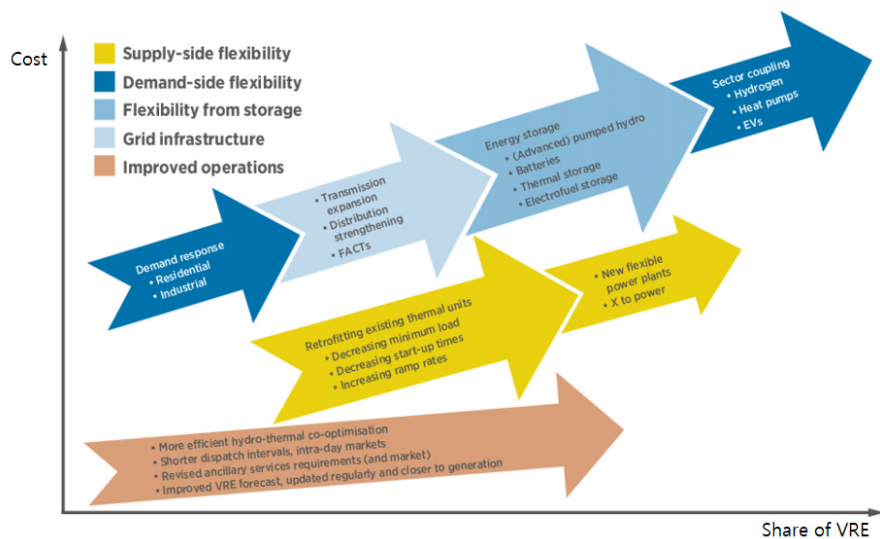
Table 1. Sector Coupling Research Trends

Sector	Author (Year)	Main Contents
Heat	Henning et al (2014)	Modeling for power and heat sectors in future renewable energy-focused systems in Germany
	Nastasi et al (2016)	Linking heat and electricity utilizing Hydrogen
Transport	Robinius et al (2017)	Scenario analysis to link the power and transportation sectors based on various energy sources in Germany
	Garmsiri et al (2014)	Integration of wind power, hydrogen and natural gas pipeline systems to meet the energy needs of the community and transport
	Teng et al (2016)	Analysis of the impact of electrification of power and transportation sector on future power system flexibility in UK
	Emonts et al (2019)	Hydrogen-based sector coupling for transport sector
Etc	Klein et al (2018)	Analysis of P2G, P2H as options of power system flexibility for high renewable energy generation in South Africa
	Brown et al (2018)	Comparison of sector coupling and power system reinforcement for power system integration when the proportion of renewable energy generation increases
	Brown et al (2019)	Examination of sectoral interactions for zero carbon dioxide emissions in high renewable energy systems in Europe



Source : BMWi (2015)

Fig. 3. Total Energy Demand Decreases Even Though by Sector Coupling.



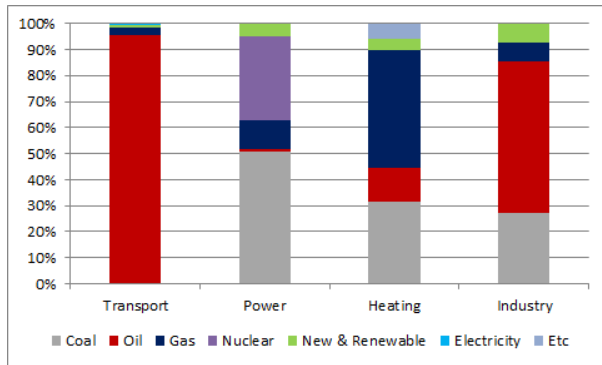
Source : IRENA (2018)

Fig. 4. Technical Options to Increase System Flexibility.

에 대응하기 위해서 출발했다. 재생에너지 비중 변화에 따른 변동성 대응 조치는 다음과 같다. 공급측면은 기존 발전소 성능개선, 신규 유연성 자원 등이 포함되고, 수요측면은 가정과 산업의 수요반응, 섹터커플링으로 나타난다. 그 밖에 송배전 망 강화, 에너지저장장치 (배터리, 양수 등), 운영 최적화 (재생에너지 예측, 전력시장 보조서비스 등)가 있다. 아래 Fig 4에 따르면 섹터커플링은 재생에너지 비중이 높을 때 적용가능하고, 비용은 가장 높게 나타난다 (IRENA, 2018).

4. 국내 섹터커플링 적용 현황

우리나라는 거의 모든 부문에서 화석연료 비중이 높게 나타난다. 2017년 기준 최종에너지 소비에서 화석연료 비중은 74.9%에 달한다. 난방부문은 가스와 석탄이 약 89.6%를 차지하고, 수송부문은 약 98.4%를 석유로 충당하고 있다. 발전부문의 화석연료 비중은 62.7%로 나타난다. 아래 Fig 5는 2017년 우리나라 수송, 발전, 난방, 산업 부문의 최종에너지 소비



*etc (비재생폐기물 포함), Renewable (Including Hydro), Gas (Including City gas and LNG), Heating (Including Districting C&H, Industrial Complex)

Source : MOTIE and KEEI (2018), KEA (2018) Modified

Fig. 5. Final Consumption Proportion by Transport/Power/Heating/Industry Sector in 2017

량 비중을 보여준다.

우리나라도 태양광을 중심으로 재생에너지 비중이 확대되는 추세이며, 제3차 에너지기본계획에서는 2040년 재생에너지 발전비중 목표를 30~35%로 설정하였다. 재생에너지 비중이 확대됨에 따라 변동성 대응 조치가 더욱 필요할 전망이다. 또한 발전부문 외에 다른 부문의 탈탄소화를 고려하였을 때 장기적으로는 섹터커플링을 통한 변동성 대응 방안을 고려해볼 필요가 있다. 현재 전기보일러, 히트펌프, 전기자동차 등이 개별적으로 기술 개발이 이루어지고 있으며, P2X 기술 중 P2G는 지역에서 실증연구 중이다. 정부는 2019년 초 수소 경제 비전을 발표하여, 2022년까지 MW급 재생에너지 연계 수전해 기술을 확보하고, 대규모 태양광 및 풍력 발전과 연계하여 수소 대량생산을 추진할 예정이다. Vehicle to Grid (V2G) 기술은 제주 스마트 그리드 실증사업을 통해 구현과 실증이 완료되었다.

5. 결론

파리협정 이후 재생에너지로 전력을 자급하겠다고 선언한 국가가 점점 확대되고 있고, 재생에너지를 통해 발전부문뿐만 아니라 냉난방, 산업, 수송부문에서도 화석연료 비중을 낮추려는 움직임이 지속되고 있다. 섹터커플링은 에너지효율 개선에 효과적인 것으로 나타나고, 수요측면에서 에너지효율 개선은 온실가스 감축 기여도가 가장 크다 (IEA, 2018 b). 온실가스 감축과 기후변화 대응을 위한 섹터커플링 실현을 위

해서는 발전부문에서 재생에너지 기술 비중을 증가시키는 것이 우선적으로 선행되어야 한다. 재생에너지와 같이 온실가스 배출이 없거나 현저히 적은 기술을 통해 생산된 전력이 다른 부문에서 사용되는 것은 생태적으로도 합리적이다. 또한 공급 안전성, 환경 적합성, 경제성 등 개선된 에너지 인프라의 상호작용은 섹터커플링 성공의 전제조건이다. 섹터커플링은 재생에너지 변동성 대응 목적도 있기 때문에 재생에너지 비중 변화에 따른 변동성 대응 조치를 섹터커플링에서 구현할 수 있는 방안도 검토되어야 한다.

열병합발전소 (CHP)에서 전력을 생산할 때 열이 발생하고, 그것을 산업 및 가정에 공급하는 것도 광의의 섹터커플링이고, 우리나라는 그 맥락에서 이미 섹터커플링을 경험하였다. 현재 우리나라는 재생에너지 기반 섹터커플링을 구현하기에 낮은 재생에너지 발전비중 뿐만 아니라 낮은 기술수준과 인프라, 고립된 전력망, 독점적 전력 판매시장, 복잡한 에너지 가격체계 등 한계가 많다. 반면 제3차 에너지기본계획에서 제시된 것과 같이 향후 발전부문에서 석탄 비중은 축소되고 재생에너지 비중이 큰 폭으로 확대되며, 남북러·한중일을 잇는 동북아 슈퍼그리드, 전력중개시장 전력프로슈머·가상발전소와 같이 점진적으로 전력 판매시장이 개방되는 추세에 있다. 또한 섹터커플링은 온실가스 비용이 높고 가격이 계속 상승할 때 대안으로 활용될 수 있는데, 현재 우리나라는 온실가스 배출권거래제를 도입·운영 중에 있고, 미세먼지, 환경비용 등 탄소 외부비용에 대한 논의가 활발해져 섹터커플링 적용을 위한 우호적인 여건이 조성될 수 있을 것으로 보인다. 아울러 현재 수립된 국가 온실가스 감축로드맵이 불명확하다는 평가가 존재하기 때문에 장기적으로 더 강화된 온실가스 감축 방향 설정에도 도움이 될 수 있다. 부문별로 독립적으로 진행된 연구에서 발전·난방·수송을 아우르는 부문간 연계형 모델링 연구 등을 통해 통합형 관점에서 정책을 검토하여, 온실가스 감축의 시너지 효과를 기대하고 불확실성을 최소화하는 방향이다.

현재 제주도, 전라남도, 강원도 등 재생에너지가 빠르게 설치되면서 전력계통 보강 및 대규모 송전선로 건설이 요구되고 있다. 이 지역에 재생에너지 전력을 수소로 저장하는 Power-to-Gas (P2G) 기술을 통해 섹터커플링을 시범적으로 적용해볼 수 있다. 가스는 운송이 용이하고, 기존 에너지 인프라인 도시가스 파이프라인, LNG 발전소 등을 활용할 수 있어, 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 송배전 설비 건설에 대한 민원을 줄이고, 분산형 에너지시스템 구축에도 기여할 수 있다.

현재 섹터커플링 적용이 활발한 유럽에서는 더 정교한 기

솔별, 시나리오별 모델링 연구를 바탕으로 과세 및 보조금과 비용, 운영과 관리 주체, 그에 따른 세부적인 규칙 등을 검토하고 있다. 섹터커플링 적용을 위해서는 인프라 기술개발 및 실증, 설치주체 및 지역 선정 등 많은 비용과 시간이 필요하다. 본 연구는 섹터커플링 개념, 적용방안, 관련 연구 등을 국내에 소개하고 정책 방향성을 도출하는 데 그쳤지만, 향후 재생에너지 확대와 기후변화 대응을 위해 섹터커플링의 역할과 필요성이 더 강조되어 체계적이고 자세한 논의와 연구로 나아가기를 고대한다.

REFERENCES

- Acatech. 2018. Coupling the Different Energy Sectors - Options for the Next Phase of the Energy Transition
- BMWi. 2015. An Electricity Market for Germany's Energy Transition: White Paper by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
- BMWi. 2016. Electricity 2030 : Long-term trends-tasks for the coming years
- Brown T, Schafer M, Greiner M. 2019. Sectoral Interactions as Carbon Dioxide Emissions Approach Zero in a Highly-Renewable European Energy System. *Energies* 12 (6): 1032.
- Brown T, Schlachtberger D, Kier A, Schramm S, Greiner M. 2018. Synergies of Sector Coupling and Transmission Reinforcement in a Cost-Optimised, Highly Renewable European Energy System. *Energy* 160: 720-739.
- Emonts B, ReuB M, Stenzel P, Welder L, Knicker F, Grube T, Gorner K, Robinius M, Stolten D. 2019. Flexible sector coupling with hydrogen: A climate friendly fuel supply for road transport. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Garmsiri S, Rosen M, Smith G. 2014. Integration of Wind Energy, Hydrogen and Natural Gas Pipeline Systems to Meet Community and Transportation Energy Needs: A Parametric Study. *Sustainability* 6: 2506 - 2526.
- Henning H, Palzer A. 2014. A Comprehensive Model for the German Electricity and Heat Sector in a Future Energy System with a Dominant Contribution from Renewable Energy Technologies -Part I: Methodology. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 30: 1003 - 1018.
- IEA. 2018 a. Energy Efficiency
- IEA. 2018 b. World Energy Outlook
- IPCC. 2014. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IRENA, 2018, Power System Flexibility for The Energy Transition
- KEA. 2018. Integrated Energy Business Statistics
- Kerstine Appunn, 2018, Sector Coupling - Shaping an Intergrated Renewable Energy System, Journalism for the Energy Transition
- Klein P, Brown C, Wright J, Calitz J. 2018. Energy Storage and Sector Coupling for High Renewable Power Generation Scenarios for South Africa. *Africa Research Journal*.
- MOTIE, KEEI. 2018. Yearbook of Energy Statistics
- Nastasi B, Lo B. 2016. Hydrogen to link heat and electricity in the transition towards future Smart Energy Systems. *Energy* 110: 5 - 22.
- REN21. 2018. Renewables 2018 Global Status Report
- Robinius M, Otto A, Heuser P, Welder L, Syranidis K, Ryberg D, Grube T, Markewitz P, Peters R, Stolten D. 2017. Linking the Power and Transport Sectors-Part1: The Principle of Sector Coupling. *Energies* 10 (7): 956
- Robinius M, Otto A, Syranidis K, Ryberg D, Heuser P, Welder L, Grube T, Markewitz P, Tietze V, Stolten D. 2017. Linking the Power and Transport Sectors-Part2 : Modelling a Sector Coupling Scenario for Germany. *Energies* 2017 (10): 957
- Sterner M, Stadler I. 2014. *Energiespeicher-Bedarf, Technologien, Integration*. Springer-Verlag.
- Teng F, Aunedi M, Strbac G. 2016. Benefits of Flexibility From Smart Electrified Transportation and Heating in the Future UK Electricity System. *Applied. Energy* 167: 420 - 431.
- Volker Q. 2016. *Sektorkopplung Durch Die Energiewende*