

경제성장과 산업구조 변화에 따른 장기 온실가스 배출량 전망 시나리오 분석

권 승 문* · 전 의 찬**†

*세종대학교 기후변화협동과정, **세종대학교 환경에너지융합학과

An Analysis of Long-Term Scenarios for The GHG Emissions Projections Considering Economic Growth and Industrial Structure Change

Kwon, Seung Moon* and Jeon, Eui Chan**†

*Cooperate Course for Climate Change, Sejong University, Seoul, Korea

**Dept. of Environment and Energy, Sejong University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Both economic growth and industrial structure have great influence on energy consumption and GHG emissions. This study analyzed long-term scenarios for GHG emissions projections considering economic growth and industry value added change. In consideration of 3 GDP and 3 industry value added outlook, total 9 scenarios were set; 'Assembly Industry Baseline(AI)', 'Assembly KEIT industry(AK)', 'Assembly Advanced Country industry(AA)', 'KDI Industry Baseline(KI)', 'KDI KEIT industry(KK)', 'KDI Advanced Country industry(KA)', 'OECD Industry Baseline(OI)', 'OECD KEIT industry(OK)', and 'OECD Advanced Country industry(OA)' scenarios. In consideration of the GDP increase rate and industry value added outlook, it is estimated that AI scenario's GHG emissions would be 777 million tons of CO₂eq in 2030. On the other hand, in the case of OA scenario, GHG emissions would be 560.2 million tons of CO₂eq in 2030. Differences between AI scenario's and OA scenario's were 216.8 million tons of CO₂eq. It can be identified by that GDP and industry value added change have great influence on GHG emissions. In view of the fact that Korea's amount of GHG emission reduction targets in 2030 were 218.6 million tons of CO₂eq that the result of this research could give us valuable insight.

Key words: GDP, Industry Value Added, Energy Intensity, GHG, LEAP

1. 서 론

세계 경제가 장기적인 침체(long-term recession)에 들어섰다는 전망이 나오고 있다. 신흥국 경제의 저성장 영향으로 세계 경제성장이 둔화되고(OECD, 2014), 선진국과 신흥국의 잠재성장률 하락으로 세계 경제의 저성장 기조가 장기화될 가능성이 높은 것으로 전망되고 있다(IMF, 2015; IMF, 2016). 한국의 경우도 최근 GDP 증가율이 3%를 넘지 못하고 있다. 이에 한국 경제의 저성장 현상을 진단하고, 정책 대응과 발전 전략을 모색하는 연구들이 나오기 시작했다(Hong, 2015; Kim, 2015; Yeom, 2016).

경제성장과 산업구조는 에너지 소비와 온실가스 배출량에

많은 영향을 미친다. 한국은 높은 경제성장률과 중화학공업 위주의 산업구조로 에너지 소비가 크게 늘었고, 이에 따라 온실가스 배출량이 크게 증가했다. 한국의 1970년대와 1980년대 연평균 GDP 증가율은 9~10%에 달했다. 하지만 1990년대 외환위기를 겪으면서 6.94%로 하락했고, 2000년대 들어 4.42%, 최근 10년 동안 3.54%, 최근 5년간 GDP 증가율은 3%에도 못 미치는 2.96%로 하락했다. 이에 따라 최종에너지 소비는 1990~2013년 기간 동안 연평균 4.65% 증가했지만, 최근 5년간 증가율은 2.86%로 감소했다. 온실가스 총배출량은 1990~2013년 기간 동안 3.83%, 최근 5년간 3.28% 증가했다. 산업구조 측면에서도 많은 변화가 있었다. 농림어업의 부가가치 비중은 1970년 17.7%에서 2013년 2.3%로 크게 줄었고, 광업의 비중

† Corresponding author: ecjeon@sejong.ac.kr

Received June 10, 2016 / Revised July 4, 2016(1st), July 18(2nd) / Accepted August 12, 2016

도 같은 기간 2.9%에서 0.2%로 하락했다. 건설업의 부가가치 비중 역시 11.5%에서 4.5%로 줄었다. 반면에, 제조업은 1970년 8.9%에서 2013년 31.8%로 크게 증가했고, 전기, 가스 및 수도사업은 0.5%에서 2.1%로 상승했다. 서비스업의 부가가치 비중은 61.1%에서 59.2%로 큰 변화가 없었다.

에너지소비의 효율성을 나타내는 에너지집약도¹⁾의 경우, 한국은 2013년 기준 0.22(TOE/천 US달러)로, 독일(0.1), 프랑스(0.11), 미국(0.15), 일본(0.1) 등 주요 선진국과 비교해 상당히 높게 나타났다. 이는 한국의 제조업 및 에너지다소비업종의 비중이 주요 선진국에 비해 상대적으로 높기 때문으로 분석된다.²⁾ 이에 따라 에너지 다소비형 산업구조를 에너지 저소비형 산업구조로 전환해야 한다는 분석과 연구가 계속되어 왔다(Oh *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2013).

한국을 비롯한 세계 각국은 2015년 12월, 프랑스 파리에서 개최된 제21차 기후변화협약 당사국총회(COP21)에서 신기후체제 합의문인 파리협정(Paris Agreement)을 채택했고, 2016년 4월에 175개국이 서명했다. 한국은 UN에 제출한 2030년 BAU 대비 온실가스 감축목표(Intended Nationally Determined Contribution, INDC) 37%를 실현해야 하는 상황이다. 또한 한국의 온실가스 감축목표는 최근의 변화된 경제상황이 고려되지 못했고, 단일한 GDP 증가율과 산업별 부가가치 전망을 기본 전제로 하고 있다(Related Ministries Jointly, 2015).

이에 본 연구는 경제성장과 산업구조 변화를 고려한 장기 온실가스 배출량 전망 시나리오를 구성하고 분석했다. 기준년도는 2013년, 단기 미래는 2030년, 장기 미래는 2060년으로 설정했다. 각 산업의 부가가치와 에너지 소비량, 온실가스 배출량을 산정하고, 국내외 주요 기관들의 GDP, 산업구조 전망 자료를 토대로 시나리오를 구성했다. 각 시나리오별 전제를 바탕으로 온실가스 배출량을 전망하고, 이를 비교 분석했다.

2. 산업별 부가가치 및 에너지 소비현황

한국은행 경제통계시스템과 에너지경제연구원의 『에너지총조사보고서』를 이용해 산업을 분류하고, 각 산업의 부가가치와 에너지 소비량을 산정했다. 한국은행의 국민계정에서 경제활동별 GDP는 농림어업, 광업, 제조업, 전기·가스 및 수도사업, 건설업, 서비스업으로 크게 구분된다. 제조업과 서비스업을 보다 세분화할 경우 26개 산업으로 나뉜다. 이러한 산업 분류별 부가가치를 에너지 소비량과 연계할 수 있는 에너지통계는 『에너지총조사보고서』가 유일하다.³⁾ 『에너지총조사보고서』는 매 3년마다 표본을 추출해, 농림어업, 광업, 제조업, 수송, 상업·공공부문의 에너지 소비를 업종별로 세분화하여 제공하고 있다.⁴⁾ 이에 2001년, 2004년, 2007년, 2010년, 2013년 산업별 부가가치와 에너지 소비량을 비교해 에너지집약도를 산정해 분석했다.⁵⁾

먼저 산업별 부가가치를 살펴보면(Table 1), 2013년 기준 도소매 및 음식숙박업의 부가가치 비중이 총부가가치 대비 11.65%로 가장 높다. 전기 및 전자기기 제조업의 비중이 9.47%로 두 번째로 높았고, 부동산 및 임대업(7.52%), 사업서비스업(6.98%), 공공행정(6.8%)의 순이다. 전기 및 전자기기 제조업을 제외하고는 모두 서비스업 및 공공 부문의 부가가치 비중이 상대적으로 높은 상황이다.

산업별 부가가치 비교를 통해 제조업과 서비스업 내에서도 세부 업종별로 다양한 변화 양상을 나타내고 있다는 것을 확인할 수 있다. 본 연구는 각 산업별 경제활동의 결과로 나타나는 에너지 소비와 온실가스 배출 역시 세부 업종별로 다르게 나타날 수밖에 없다는 점에 주목한다. 세부 산업별 부가가치 변화에 따른 에너지 소비와 온실가스 배출량을 추정하고, 그 의미와 과제를 제시한다.

1) 1차 에너지를 GDP로 나눈 값(TPES/GDP)으로, 에너지 단위는 석유환산톤(TOE), GDP는 2005년 기준 천 US달러를 사용했다(www.iea.org/statistics/statisticssearch/).

2) Lee CH *et al.*(2013)에 따르면 한국의 제조업 및 에너지다소비업종의 비중은 각각 GDP의 30.3%와 5.5%로, 미국(12.4%, 2.3%), 프랑스(10.5%, 1.2%), 독일(22.9%, 2.0%), 일본(19.2%, 4.1%)에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

3) 에너지경제연구원의 『에너지통계연보』는 제조업의 에너지통계가 표준산업분류로 구분돼 있지 않고, 한국에너지공단의 『산업부문 온실가스 배출량 보고서』는 광업과 제조업 통계가 표준산업분류로 되어 있지만, 농업과 서비스업은 제공되지 않고 있다. 두 기관의 통계 모두 서비스업이 보다 포괄된 통계인 상업 부문으로 되어 있다.

4) 산업통상자원부는 「에너지법」에 따라 1981년부터 매 3년마다 에너지총조사를 실시하고 있으며 2014년 조사가 가장 최근의 결과로 제 12차 조사에 해당한다. 하지만, 에너지경제연구원 홈페이지를 통해 제공되고 있는 통계는 2002년 이후 5차 년도이다. 이에 본 연구에서는 5개 년도를 기준으로 에너지 통계를 살펴본다.

5) 에너지총조사는 표준산업분류로, 한국은행경제통계의 업종은 국민계정체계에 따라 분류된다. 표준산업분류와 국민계정체계에 따른 산업 분류는 일치하지 않지만, 본 연구의 목적에 따라 분류된 26개 산업의 에너지소비량과 부가가치는 경향성을 파악하는 데에는 무리가 없는 것으로, 한국은행 경제통계국 국민소득총괄팀을 통해 확인했다. 정확히 일치된 산업별 부가가치와 에너지소비량을 확인하기 위해서는 금액 기준인 산업연관표를 에너지산업연관표로 전환하는 작업이 필요하다. 하지만 산업연관표와 국가에너지통계는 통계 원천 및 기준, 통계의 대상 및 범위 등에서 상호 연계될 수 없는 많은 차이점이 있어 한계로 지적된다(심상렬, 2005).

Table 1. GDP by kind of economic activity (At chained 2010 year prices)

(unit: Billion KRW)

| | 2001 | 2004 | 2007 | 2010 | 2013 | CAGR (%) |
|--------------------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Gross value added | 766,877 | 892,055 | 1,033,356 | 1,145,124 | 1,250,079 | 4.16 |
| Agriculture, forestry, fishing | 25,060 | 25,313 | 27,128 | 28,297 | 28,358 | 1.04 |
| % of gross value added | 3.27 | 2.84 | 2.63 | 2.47 | 2.27 | - |
| Mining, quarrying | 2,565 | 2,597 | 2,457 | 2,199 | 2,347 | -0.74 |
| % of gross value added | 0.33 | 0.29 | 0.24 | 0.19 | 0.19 | - |
| Food, tobacco | 13,838 | 14,646 | 14,671 | 14,931 | 15,019 | 0.69 |
| % of gross value added | 1.80 | 1.64 | 1.42 | 1.30 | 1.20 | - |
| Textile, leather | 14,887 | 13,706 | 15,107 | 16,985 | 19,612 | 2.32 |
| % of gross value added | 1.94 | 1.54 | 1.46 | 1.48 | 1.57 | - |
| Wood, paper, publication | 8,018 | 8,376 | 8,662 | 9,725 | 9,516 | 1.44 |
| % of gross value added | 1.05 | 0.94 | 0.84 | 0.85 | 0.76 | - |
| Petroleum, chemical | 4,869 | 6,590 | 7,063 | 7,499 | 7,998 | 4.22 |
| % of gross value added | 0.63 | 0.74 | 0.68 | 0.65 | 0.64 | - |
| Chemical products | 31,853 | 34,550 | 41,362 | 46,520 | 48,780 | 3.62 |
| % of gross value added | 4.15 | 3.87 | 4.00 | 4.06 | 3.90 | - |
| Non-metallic minerals | 8,003 | 8,880 | 9,608 | 11,014 | 11,533 | 3.09 |
| % of gross value added | 1.04 | 1.00 | 0.93 | 0.96 | 0.92 | - |
| Basic metal products | 26,388 | 29,179 | 30,448 | 31,748 | 33,103 | 1.91 |
| % of gross value added | 3.44 | 3.27 | 2.95 | 2.77 | 2.65 | - |
| Metal products | 17,250 | 22,238 | 27,860 | 24,460 | 26,418 | 3.62 |
| % of gross value added | 2.25 | 2.49 | 2.70 | 2.14 | 2.11 | - |
| Machinery, equipment | 14,075 | 18,147 | 23,805 | 28,971 | 32,572 | 7.24 |
| % of gross value added | 1.84 | 2.03 | 2.30 | 2.53 | 2.61 | - |
| Electrical machinery | 30,050 | 49,024 | 66,270 | 92,466 | 118,398 | 12.11 |
| % of gross value added | 3.92 | 5.50 | 6.41 | 8.07 | 9.47 | - |
| Precision instruments | 2,208 | 3,598 | 7,079 | 5,944 | 7,871 | 11.18 |
| % of gross value added | 0.29 | 0.40 | 0.69 | 0.52 | 0.63 | - |
| Transport equipment | 27,926 | 34,137 | 45,858 | 56,451 | 62,554 | 6.95 |
| % of gross value added | 3.64 | 3.83 | 4.44 | 4.93 | 5.00 | - |
| Other manufacturing | 3,074 | 3,704 | 4,620 | 5,058 | 4,780 | 3.75 |
| % of gross value added | 0.40 | 0.42 | 0.45 | 0.44 | 0.38 | - |
| Electricity, gas, water | 16,339 | 19,610 | 22,296 | 25,632 | 26,629 | 4.15 |
| % of gross value added | 2.13 | 2.20 | 2.16 | 2.24 | 2.13 | - |

Table 1. Continued

(unit: Billion KRW)

| | 2001 | 2004 | 2007 | 2010 | 2013 | CAGR (%) |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Construction | 52,165 | 58,964 | 61,061 | 58,634 | 56,044 | 0.60 |
| % of gross value added | 6.80 | 6.61 | 5.91 | 5.12 | 4.48 | - |
| Whole, retail, restaurant, hotels | 105,323 | 108,057 | 120,700 | 130,351 | 145,620 | 2.74 |
| % of gross value added | 13.73 | 12.11 | 11.68 | 11.38 | 11.65 | - |
| Transportation, storage | 31,053 | 34,481 | 39,307 | 44,539 | 47,556 | 3.62 |
| % of gross value added | 4.05 | 3.87 | 3.80 | 3.89 | 3.80 | - |
| Financial intermediation | 43,394 | 52,689 | 63,996 | 71,670 | 78,584 | 5.07 |
| % of gross value added | 5.66 | 5.91 | 6.19 | 6.26 | 6.29 | - |
| Real estate, renting, leasing | 70,793 | 77,702 | 85,271 | 91,042 | 94,000 | 2.39 |
| % of gross value added | 9.23 | 8.71 | 8.25 | 7.95 | 7.52 | - |
| Information, communication | 28,566 | 36,662 | 42,030 | 45,364 | 52,773 | 5.25 |
| % of gross value added | 3.72 | 4.11 | 4.07 | 3.96 | 4.22 | - |
| Business activities | 47,575 | 59,047 | 70,219 | 77,950 | 87,245 | 5.18 |
| % of gross value added | 6.20 | 6.62 | 6.80 | 6.81 | 6.98 | - |
| Public administration, defence | 57,883 | 64,746 | 72,369 | 78,886 | 85,025 | 3.26 |
| % of gross value added | 7.55 | 7.26 | 7.00 | 6.89 | 6.80 | - |
| Education | 47,997 | 54,986 | 60,804 | 63,750 | 64,773 | 2.53 |
| % of gross value added | 6.26 | 6.16 | 5.88 | 5.57 | 5.18 | - |
| Health, social work | 25,817 | 30,482 | 37,083 | 43,925 | 51,247 | 5.88 |
| % of gross value added | 3.37 | 3.42 | 3.59 | 3.84 | 4.10 | - |
| Culture, other services | 22,335 | 24,551 | 28,788 | 31,115 | 32,683 | 3.22 |
| % of gross value added | 2.91 | 2.75 | 2.79 | 2.72 | 2.61 | - |

Source: Bank of Korea (<http://ecos.bok.or.kr/>).

Note: CAGR (Compound Annual Growth Rate).

산업별 부가가치 변화에 따른 에너지 소비량을 살펴보면 (Table 2), 화학제품, 석유, 석탄 및 화학제품, 1차 금속제품 등 대표적인 에너지다소비업종의 에너지 소비량이 다른 산업에 비해 월등히 많은 것을 알 수 있다. 다음으로 서비스업 중에서는 운수 및 보관업의 에너지 소비량이 많다는 것을 확인할 수 있다. 에너지집약도를 살펴보면, 석유, 석탄 및 화학제품 제조업이 385.60으로 가장 높은데, 두 번째로 에너지집약도가 높은 1차 금속제품(85.21)의 약 4.5배에 이른다. 화학제품(65.91), 비금속 광물제품(55.24), 운수 및 보관업(43.49)의

에너지집약도 역시 다른 산업에 비해 상당히 큰 것으로 나타났다.

3. 연구 방법

3.1 온실가스 배출전망 분석모형

온실가스 배출전망 분석 모형은 하향식 모형(top-down model)과 상향식 모형(bottom-up model)으로 구분할 수 있다. 하향식 모형은 연산가능일반균형모형(Computable General Equi-

6) 에너지집약도 단위는 TOE/산업별 부가가치(억원)이다.

Table 2. Energy consumption and energy intensity by industry

(unit: TOE, TOE/hundred million KRW)

| | 2001 | 2004 | 2007 | 2010 | 2013 | CAGR (%) |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| Agriculture, forestry, fishing | 5,266,560 | 6,285,952 | 3,818,970 | 3,887,840 | 3,935,355 | -2.40 |
| energy intensity | 21.02 | 24.83 | 14.08 | 13.74 | 13.88 | -3.40 |
| Mining, quarrying | 228,980 | 208,220 | 163,270 | 171,870 | 170,640 | -2.42 |
| energy intensity | 8.93 | 8.02 | 6.64 | 7.81 | 7.27 | -1.70 |
| Food, tobacco | 1,948,590 | 1,805,970 | 1,931,330 | 1,491,960 | 2,135,840 | 0.77 |
| energy intensity | 14.08 | 12.33 | 13.16 | 9.99 | 14.22 | 0.08 |
| Textile, leather | 2,483,190 | 1,785,870 | 1,808,130 | 1,052,300 | 1,582,340 | -3.69 |
| energy intensity | 16.68 | 13.03 | 11.97 | 6.20 | 8.07 | -5.87 |
| Wood, paper, publication | 3,036,600 | 2,718,380 | 2,676,090 | 2,402,610 | 2,700,050 | -0.97 |
| energy intensity | 37.87 | 32.45 | 30.90 | 24.71 | 28.37 | -2.38 |
| Petroleum, chemical | 15,691,070 | 16,400,940 | 29,798,500 | 29,060,460 | 30,839,920 | 5.79 |
| energy intensity | 322.26 | 248.88 | 421.93 | 387.53 | 385.60 | 1.51 |
| Chemical products | 24,735,670 | 26,933,280 | 23,907,690 | 27,346,160 | 32,148,450 | 2.21 |
| energy intensity | 77.65 | 77.95 | 57.80 | 58.78 | 65.91 | -1.36 |
| Non-metallic minerals | 6,245,080 | 6,683,660 | 6,097,020 | 5,397,540 | 6,370,860 | 0.17 |
| energy intensity | 78.04 | 75.27 | 63.46 | 49.01 | 55.24 | -2.84 |
| Basic metal products | 16,607,450 | 18,719,610 | 20,485,640 | 23,801,530 | 28,206,180 | 4.51 |
| energy intensity | 62.94 | 64.16 | 67.28 | 74.97 | 85.21 | 2.56 |
| Metal products | 715,210 | 857,290 | 1,125,350 | 1,171,230 | 1,668,440 | 7.31 |
| energy intensity | 4.15 | 3.86 | 4.04 | 4.79 | 6.32 | 3.57 |
| Machinery, equipment | 722,300 | 1,093,570 | 903,980 | 601,560 | 974,630 | 2.53 |
| energy intensity | 5.13 | 6.03 | 3.80 | 2.08 | 2.99 | -4.40 |
| Electrical machinery | 1,754,610 | 2,341,790 | 3,248,440 | 3,497,050 | 4,818,990 | 8.78 |
| energy intensity | 5.84 | 4.78 | 4.90 | 3.78 | 4.07 | -2.96 |
| Precision instruments | 82,880 | 70,930 | 109,090 | 78,970 | 154,920 | 5.35 |
| energy intensity | 3.75 | 1.97 | 1.54 | 1.33 | 1.97 | -5.24 |
| Transport equipment | 1,265,550 | 1,690,980 | 1,949,270 | 2,095,600 | 2,672,740 | 6.43 |
| energy intensity | 4.53 | 4.95 | 4.25 | 3.71 | 4.27 | -0.49 |
| Other manufacturing | 197,660 | 328,230 | 189,620 | 220,140 | 158,560 | -1.82 |
| energy intensity | 6.43 | 8.86 | 4.10 | 4.35 | 3.32 | -5.37 |
| Construction | 1,339,864 | 1,531,649 | 1,669,915 | 1,449,309 | 1,556,233 | 1.26 |
| energy intensity | 2.57 | 2.60 | 2.73 | 2.47 | 2.78 | 0.65 |
| Whole, retail, restaurant, hotels | 4,425,730 | 6,308,621 | 7,474,576 | 8,928,771 | 9,442,584 | 6.52 |
| energy intensity | 4.20 | 5.84 | 6.19 | 6.85 | 6.48 | 3.68 |

Table 2. Continued

(unit: TOE, TOE/hundred million KRW)

| | 2001 | 2004 | 2007 | 2010 | 2013 | CAGR (%) |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| Transportation, storage | 17,859,820 | 20,528,050 | 21,886,510 | 21,019,870 | 20,681,800 | 1.23 |
| energy intensity | 57.51 | 59.53 | 55.68 | 47.19 | 43.49 | -2.30 |
| Financial intermediation | 506,932 | 566,885 | 372,478 | 446,914 | 474,053 | -0.56 |
| energy intensity | 1.17 | 1.08 | 0.58 | 0.62 | 0.60 | -5.36 |
| Real estate, renting, leasing | 138,287 | 167,431 | 236,932 | 260,333 | 294,033 | 6.49 |
| energy intensity | 0.20 | 0.22 | 0.28 | 0.29 | 0.31 | 4.00 |
| Information, communication | 379,852 | 587,334 | 652,863 | 771,928 | 983,953 | 8.25 |
| energy intensity | 1.33 | 1.60 | 1.55 | 1.70 | 1.86 | 2.86 |
| Business activities | 323,089 | 436,329 | 651,230 | 699,199 | 904,885 | 8.96 |
| energy intensity | 0.68 | 0.74 | 0.93 | 0.90 | 1.04 | 3.59 |
| Public administration, defence | 574,484 | 592,503 | 554,183 | 745,542 | 545,900 | -0.02 |
| energy intensity | 0.95 | 0.92 | 0.77 | 0.95 | 0.64 | -3.18 |
| Education | 834,960 | 979,672 | 1,134,181 | 1,390,509 | 1,839,622 | 6.80 |
| energy intensity | 1.74 | 1.78 | 1.87 | 2.18 | 2.84 | 4.17 |
| Health, social work | 561,447 | 622,885 | 901,016 | 1,002,843 | 1,381,077 | 7.79 |
| energy intensity | 2.17 | 2.04 | 2.43 | 2.28 | 2.69 | 1.80 |
| Culture, other services | 1,745,152 | 2,232,835 | 2,247,796 | 2,245,870 | 2,591,824 | 3.35 |
| energy intensity | 7.81 | 9.09 | 7.81 | 7.22 | 7.93 | 0.12 |

Source: Bank of Korea (<http://ecos.bok.or.kr/>), Ministry of Trade, Industry and Energy (2003, 2006, 2009, 2012, 2015).

Note: CAGR (Compound Annual Growth Rate).

librium Model, CGE)과 거시계량모형(Macro-econometric Model)을 들 수 있다. 상향식 모형은 제약 조건 하에서 목적 함수를 달성하기 위한 최적해를 구하는 최적화 모형(Optimization Model)과 시나리오에 따른 에너지 시스템을 계산하는 회계 모형(Accounting Model)이 있다. 회계 모형은 시나리오에 기반한 결과를 도출하고, 대안을 찾아가는 과정을 통해 시나리오를 수정하는 반면, 최적화 모형은 제약 조건에 맞는 최적의 시나리오 조합을 찾는다.

본 연구는 다양한 시나리오 구성에 따른 온실가스 배출량의 변화를 분석하는 것이 목적이다. 이에 대표적인 상향식 회계모형인 LEAP(Long-range Energy Alternative Planning System) 모형을 이용했다. LEAP 모형은 스톡홀름 환경연구소(the Stockholm Environment Institute)가 에너지 정책 분석과 기후 변화 완화 정책 평가를 위해 개발했고, 현재 190여 개국이 넘는 지역에서 수천 개의 기관들이 사용하고 있다. LEAP 모형

은 계속 업데이트되고 있으며, 최근 2015년 버전이 제공되고 있다. 에너지 수요와 공급에 대한 세부 분석과 에너지 기술에 대한 자료를 이용한 분석이 가능하다.

국내에서도 LEAP 모형을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 ROK(Republic of Korea) 모형은 LEAP 모형을 한국에 적용한 것으로, 모형의 기준년도에 따라 ROK1998, ROK2000, ROK2003, ROK2005 등으로 발전했다(Kim, 2007). Kim(2007)의 연구는 ROK2005를 발전시킨 것으로 최종에너지부문, 전환부문, 일차에너지를 분석 대상으로 한다. 최종에너지부문 중에서 가정 부문의 온실가스 저감효과를 분석하거나(Jo *et al.*, 2013), 대학의 온실가스 감축잠재량을 평가하고(Yoo *et al.*, 2012), 교통부문의 온실가스 감축잠재량을 분석하는 연구(Park and Woo, 2012; Kim *et al.*, 2016)들도 있다. 산업부문, 특히 제조업 부문의 온실가스 감축효과를 분석하는 연구(Lee, 2010; Song 2016)가 있고, 전자소재·부품업으로

특정 업종의 온실가스 감축 잠재량을 분석하는 연구(Park et al., 2013)도 진행됐다. 전환부문의 연구로는 원자력과 신재생 에너지 발전설비에 따른 온실가스 저감 잠재량을 평가하는 연구(Jun et al., 2009), 재생가능에너지 전환을 위한 장기 시나리오를 분석한 연구(Park et al., 2013) 등이 있다.

본 연구는 산업부문의 온실가스 감축효과를 분석한 Lee (2010)와 Song(2016)의 연구가 산업부문 중 제조업만을 대상으로 하여 서비스업을 포괄하지 못하고 있다는 점과 단일한 GDP 증가율과 산업 부가가치 전망을 전제로 했다는 점에 주목했다. 이에 국내외의 주요 기관들의 GDP, 산업구조 전망 자료를 토대로 복수의 시나리오를 구성해 분석했다. 또한 농림 어업과 광업, 제조업, 서비스업을 26개 업종으로 세분화해 산업구조 변화를 반영했다.

3.2 온실가스 배출전망 시나리오 설정

본 연구의 전망을 위한 기준년도는 2013년이다. 최근 작성된 『에너지총조사보고서』를 이용해 납사 등 비에너지를 제외한 에너지 부문만을 수집해 26개 산업별 에너지원별⁷⁾ 소비량으로 기준에너지시스템(Reference Energy System, RES)을 구성했다. 전환부문은 전력⁸⁾과 열에너지⁹⁾만을 고려했으며, 『한국전력통계』, 『2014년 신·재생에너지 보급통계』를 참고해 작성했다. 본 연구에서의 2013년 산업부문의 최종에너지 총소비량은 159,234천 TOE로 『2015 에너지통계연보』의 2013년 최종에너지 소비량인 210,247천 TOE의 약 75.7%를 차지한다. 가정 부문과 상업의 일부분, 수송 부문 중에서 자가용 에너지 소비량이 포함되지 않았기 때문으로 추정된다.¹⁰⁾ 『제7차

전력수급기본계획』과 『제4차 신·재생에너지 기본계획』을 이용해 2030년 전원 구성 전망 자료를 입력했으며, 2030년 이후 전원 구성은 2030년 비중을 유지하는 것으로 가정했다. 또한 LEAP 모형이 제공하는 IPCC Tier 1 배출계수를 적용해 온실가스 배출량을 산정했다.

시나리오 설정을 위해서 국내·외 기관에서 추정하고 있는 GDP 증가율과 산업 부가가치 전망 비율을 검토했다. 먼저, 경제협력개발기구(OECD), 한국개발연구원(KDI), 국회예산정책처(NABO) 보고서를 통해 장기 GDP 증가율 전망을 살펴봤다(OECD, 2012; KDI, 2013; NABO, 2014). 세 기관 모두 2060년 장기 GDP 전망치를 제시했으며, 그 증가율은 각각 상이했다. 이에 3가지 장기 GDP 증가율로 시나리오를 구성했다(Table 3).

산업별 부가가치 전망 자료는 주로 산업연구원(KIET)의 보고서를 통해 확인할 수 있는데, 공개된 자료를 찾기가 쉽지 않다. 2005년에 발간된 『한국산업의 발전비전 2020』은 수많은 연구진들의 노력으로 한국산업의 발전비전을 전망했다. 하지만 2020년 이후의 전망에 대해서는 후속 연구를 확인할 수 없었다. 2012년 발간된 『고령화를 고려한 중장기 산업구조 전망』 연구 보고서는 2030년 산업별 부가가치 비중 전망을 제시하고 있어, 이를 활용해 시나리오를 구성했다. 또한 미국, 독일, 일본의 산업별 부가가치 비중을 고려해, 한국의 산업구조가 이들 국가의 구조로 2030년까지 발전해 간다는 가정으로 시나리오를 구성했다.¹¹⁾ 산업별 부가가치 전망 시나리오는 2013년 산업별 부가가치 비중이 계속되는 시나리오(Industry Baseline), 산업연구원의 중장기 산업구조 전망 시나리오(KEIT Industry), 선진국 산업구조 시나리오(Advanced Country Industry)로 구

Table 3. Comparison of annual average growth rate in GDP

| | Annual average growth rate of GDP (%) | | | | | | | | |
|----------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | '~'20 | '21~'25 | '26~'30 | '31~'35 | '36~'40 | '41~'45 | '46~'50 | '51~'55 | '56~'60 |
| Assembly | 3.8 | 3.0 | 2.6 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 1.4 | 1.2 | 1.0 |
| KDI | 3.6 | 2.7 | | 1.9 | | 1.4 | | 1.0 | |
| OECD | | 2.7 | | | | 1.0 | | | |

Source: National Assembly Budget Office (2014), KDI (2013), OECD (2012).

7) 에너지원은 석탄류(무연탄, 유연탄, 기타 석탄, 코크스), 석유류(휘발유, 등유, 경유, 경질중유, 중유, 중질중유, 기타 석유), 도시가스, 전력, 열에너지로 구분했으며, LEAP 모형 입력과정에서 일부 에너지는 통합되었다.
 8) 전력의 에너지원은 석탄, 원자력, 천연가스, 석유, 수력, 태양광, 풍력, 바이오매스, 폐기물로 구분했다. 송배전 손실률은 『한국전력통계』를 참고해 2013년 기준 3.73%로 설정했다.
 9) 열에너지원은 집단에너지정보넷과 IEA통계를 참고해 석탄, 석유, 천연가스, 바이오연료, 폐기물, 기타 연료로 구분했다.
 10) 『에너지통계연보』와의 차이는 포함되지 않은 부문 때문이기도 하지만, 『에너지총조사보고서』와 『에너지통계연보』의 통계 수집범위와 방식이 다른 데에서도 기인한다. 두 통계를 비교해 각 산업 부문의 에너지 소비량을 연계 및 분리해 내는 것은 사실상 불가능하다고 할 수 있다.

성했다(Table 4).¹²⁾ 본 연구는 2013년의 산업별 에너지집약도가 변화하지 않는다는 가정 하에 GDP와 산업 부가가치 변화를 고려해 온실가스 배출량을 전망했다. 이는 26개 세부산업별 기술적인 변화를 반영할 수 있는 객관적인 자료를 찾을 수가 없었기 때문이다.¹³⁾

Table 4. Comparison of value added by industry (unit: %)

| The forecast period | Industry baseline | KEIT industry | Advanced country industry |
|-----------------------------------|-------------------|---------------|---------------------------|
| | 2013~2060 | 2030~2060 | 2030~2060 |
| Agriculture, forestry, fishing | 2.27 | 1.28 | 2.35 |
| Mining, quarrying | 0.19 | 0.11 | 0.15 |
| Food, tobacco | 1.20 | 0.63 | 0.49 |
| Textile, leather | 1.57 | 0.97 | 0.75 |
| Wood, paper, publication | 0.76 | 0.37 | 0.29 |
| Petroleum, chemical | 0.64 | 0.54 | 0.42 |
| Chemical products | 3.90 | 3.29 | 2.54 |
| Non-metallic minerals | 0.92 | 0.48 | 0.37 |
| Basic metal products | 2.65 | 2.46 | 1.90 |
| Metal products | 2.11 | 1.96 | 1.51 |
| Machinery, equipment | 2.61 | 3.86 | 2.98 |
| Electrical machinery | 9.47 | 6.69 | 5.17 |
| Precision instruments | 0.63 | 0.42 | 0.32 |
| Transport equipment | 5.00 | 4.04 | 3.12 |
| Other manufacturing | 0.38 | 0.19 | 0.14 |
| Electricity, gas, water | 2.13 | 1.83 | 2.50 |
| Construction | 4.48 | 3.11 | 5.00 |
| Whole, retail, restaurant, hotels | 11.65 | 11.67 | 12.05 |
| Transportation, storage | 3.80 | 3.95 | 4.08 |

Table 4. Continued (unit: %)

| The forecast period | Industry baseline | KEIT industry | Advanced country industry |
|--------------------------------|-------------------|---------------|---------------------------|
| | 2013~2060 | 2030~2060 | 2030~2060 |
| Financial intermediation | 6.29 | 8.57 | 8.85 |
| Real estate, renting, leasing | 7.52 | 7.62 | 7.87 |
| Information, communication | 4.22 | 4.55 | 4.70 |
| Business activities | 6.98 | 6.80 | 7.02 |
| Public administration, defence | 6.80 | 6.85 | 7.08 |
| Education | 5.18 | 6.93 | 7.16 |
| Health, social work | 4.10 | 6.57 | 6.79 |
| Culture, other services | 2.61 | 4.26 | 4.40 |

Source: OECD (2016), Lee JM *et al.* (2012), Oh *et al.* (2011).

Table 5. Scenarios considering GDP & Industry value added change

| | Industry baseline | KEIT industry | Advanced country industry |
|--------------|-------------------|---------------|---------------------------|
| Assembly GDP | AI | AK | AA |
| KDI GDP | KI | KK | KA |
| OECD GDP | OI | OK | OA |

4. 분석 결과

경제활동은 온실가스 배출로 이어진다. 하지만 국가의 경제상황과 산업구조에 따라 경제활동 단위당 온실가스 배출량(온실가스 배출 집약도)은 차이를 보일 수 있다. 또한 한 국가에서도 경제상황과 산업구조, 기술 발전, 에너지원의 변화 등에 따라 온실가스 배출 집약도가 달라질 수 있다. 본 연구는 GDP와 산업 부가가치 비중 변화에 따른 온실가스 배출 시나리오를 분석하는 것이 목적이다. 이에 두 변수의 변화에 따른

- 11) 2030년 기준 KEIT Scenario를 바탕으로 OECD (2016)와 Oh *et al.*(2011)를 참고해, 선진국의 제조업과 건설업, 서비스업 등의 부가가치 비중을 선정 후 배분하는 형태로 시나리오를 구성했다.
- 12) GDP전망들은 각각의 산업부가가치 비중 전망들로 구성된다는 가정을 전제로 시나리오를 조합했다(Table 5). 각 기관의 GDP와 산업부가가치 전망이 일치하지는 않지만, ‘가능한’ 시나리오의 조합이며, 연구의 목적에 부합한다고 판단했다.
- 13) 또한 기술적인 변화를 배제하고, GDP와 산업부가가치 비중 변화에 따른 온실가스 배출량을 산정하는 것이 본 연구의 목적에 부합한다고 판단했다.

결과를 비교한다.

먼저 GDP 증가와 산업 부가가치 비중 변화에 따른 9가지 시나리오를 비교 분석한다. 2030년 온실가스 배출량 전망을 비교해 보면(Table 6), 온실가스 배출량이 가장 많은 시나리오는 AI시나리오(Assembly Industry Baseline)로 그 배출량은 7억 7,700만 CO₂eq이다. 반면, OA 시나리오(OECD Advanced Country Industry)의 경우, 2030년 온실가스 배출량은 5억 6,020만 CO₂eq로 전망된다. 두 시나리오의 배출 전망 차이는 2억 1,680만 CO₂eq에 이른다. 2060년 전망의 경우, AI 시나리오의 온실가스 배출량은 12억 3,230만 CO₂eq, OA 시나리오의 경우 7억 5,430만 CO₂eq로, 그 차이는 4억 7,800만 CO₂eq에 달한다. GDP와 산업 부가가치 비중의 변화가 온실가스 배출량에 미치는 영향이 크다는 것을 확인할 수 있다.

한국은 온실가스 감축목표를 2030년 BAU 대비 37%로 결정했다. 이 중 25.7%는 국내 감축 수단을 통해 달성하고, 11.3%는 국제시장을 활용해 감축한다는 계획이다. 국내 감축 수단에 따른 25.7%를 감축량으로 환산할 경우, 정부의 온실가스 감축목표량은 2억 1,860만 CO₂eq이다. 본 연구에서 제시한 AI 시나리오와 OA 시나리오의 2030년 온실가스 배출량 전망 차이가 2억 1,680만 CO₂eq인 것을 감안하면 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.¹⁴⁾

『Post-2020 온실가스 감축목표 설정 추진계획』에서는 단일한 GDP 증가율과 산업별 부가가치 전망을 주요 전제로 온실

가스 배출량을 전망했다. 2013~2030년 GDP 연평균 증가율은 3.08%, 2030년 제조업의 부가가치 비중은 36.1%, 에너지다소 비업종은 6.2%로 전망됐다. 하지만 최근의 GDP 증가율 둔화 전망과 조선업, 해운업의 위기에 따른 구조조정 등 산업구조의 변화 가능성을 고려할 경우, 정부의 온실가스 배출 전망은 수정이 불가피할 것으로 보인다. 향후 한국 정부는 GDP 증가율과 산업 부가가치 비중 변화 전망에 따른 다양한 시나리오를 구성해 온실가스 배출량을 전망하고, 이를 위한 정책을 제시할 필요가 있다.

GDP 전망 변화에 따른 온실가스 배출량을 살펴보면¹⁵⁾(Fig 1 및 Fig. 2), GDP 변화에 따라 일정하게 온실가스 배출량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 여기서 주목할 점은 시나리오 사이의 온실가스 배출량 차이이다. 단기 미래로 설정한 2030년의 경우 AI 시나리오(Assembly Industry Baseline)의 온실가스 배출량은 7억 7,700만 톤CO₂eq로 가장 많고, KI 시나리오(KDI Industry Baseline)에 따른 배출량은 7억 5,840만 톤CO₂eq, GDP 전망치가 가장 낮은 OI 시나리오(OECD Industry Baseline)는 7억 2,770만 톤CO₂eq로 전망됐다. AI와 OI 시나리오의 온실가스 배출량 차이는 4,930만 톤CO₂eq으로 AI 배출량 전망의 6.3%에 해당한다. 이 수치는 장기 미래인 2060년에 이르면 더욱 큰 차이를 보이는데, AI와 OI의 차이는 2억 5,250만 톤CO₂eq에 이르고, AI 시나리오 전망의 20.5%에 이른다.

동일한 GDP 시나리오 하에서¹⁶⁾ 산업 부가가치 비중의 변

Table 6. Comparison of GHG emissions by scenarios

(unit: million ton CO₂eq.)

| Scenarios | 2030 | 2040 | 2050 | 2060 |
|---|-------|-------|---------|---------|
| Assembly industry baseline (AI) | 777.0 | 951.4 | 1,104.6 | 1,232.3 |
| Assembly KEIT industry (AK) | 687.8 | 842.1 | 977.8 | 1,090.8 |
| Assembly advanced country industry (AA) | 598.2 | 732.4 | 850.4 | 948.7 |
| KDI industry baseline (KI) | 758.4 | 911.0 | 1,042.7 | 1,151.8 |
| KDI KEIT industry (KK) | 670.7 | 805.6 | 922.1 | 1,018.6 |
| KDI advanced country industry (KA) | 582.7 | 699.9 | 801.1 | 885.0 |
| OECD industry baseline (OI) | 727.7 | 810.2 | 887.1 | 979.9 |
| OECD KEIT industry (OK) | 644.2 | 717.2 | 785.2 | 867.4 |
| OECD advanced country industry (OA) | 560.2 | 623.8 | 682.9 | 754.3 |

14) 정부 시나리오와 본 연구에서 제시한 시나리오는 주요 전제와 산업 분류, 에너지집약도의 변화 등에서 차이가 있기 때문에 직접적인 비교는 불가능하다. 하지만 GDP와 산업 부가가치 비중의 차이에 따른 온실가스 배출량 전망의 차이가 2030년 국가 온실가스 감축목표량에 육박한다는 것은 향후 한국의 경제상황과 산업 정책이 온실가스 감축에 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다.

15) GDP 시나리오 변화에 따른 변화만을 분석하기 위해 동일한 산업 부가가치 시나리오를 기준으로 비교했다.

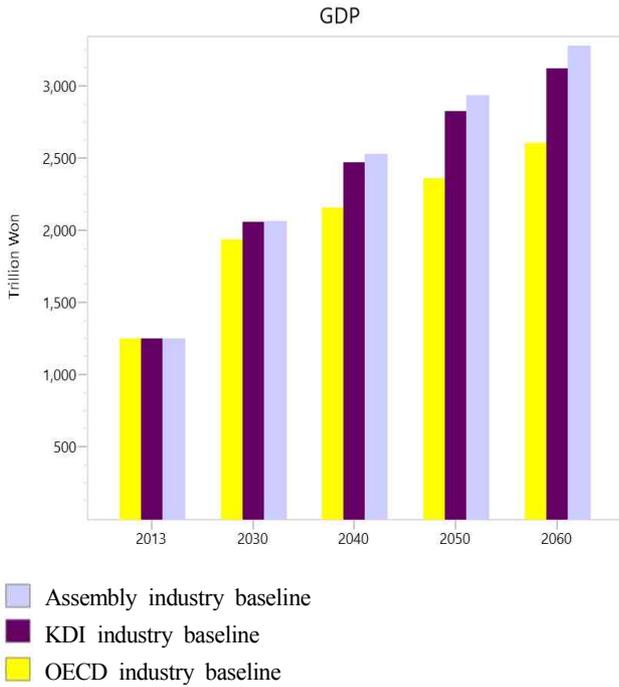


Fig. 1. GDP scenario.

의 온실가스가 배출될 것으로 전망된 반면, KK시나리오(KDI KIET Industry)의 2030년 온실가스 배출량은 6억 7,070만 CO₂eq, KA 시나리오(KDI Advanced Country Industry)의 경우는 5억 8,270만 CO₂eq로 전망됐다. KI 시나리오와 KA 시나리오의 2030년 온실가스 배출량 전망 차이는 1억 9,570만 CO₂eq에 달한다. 이 수치는 2060년에 도달하면 크게 증가하는데, 그 차이는 2억 6,680만 CO₂eq에 이른다. 산업 부가가치 비중의 변화가 온실가스 배출량에 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다.

5. 시사점 및 향후 과제

본 연구의 시사점 및 향후 과제는 다음과 같다. 첫째, 국내외 주요 기관의 자료를 토대로 다양한 GDP 증가율 전망 시나리오를 구성해 온실가스 배출량을 전망했다. 또한 2030년을 단기 미래로, 2060년을 장기 미래로 설정해 보다 장기적인 배출전망을 제시했다. 하지만 본 연구의 GDP 증가율 전망은 최근의 GDP 증가율 둔화 가능성을 반영하지 못했다. 이에 따라 향후 변화된 상황을 고려한 전망이 제시될 경우, 본 연구에서

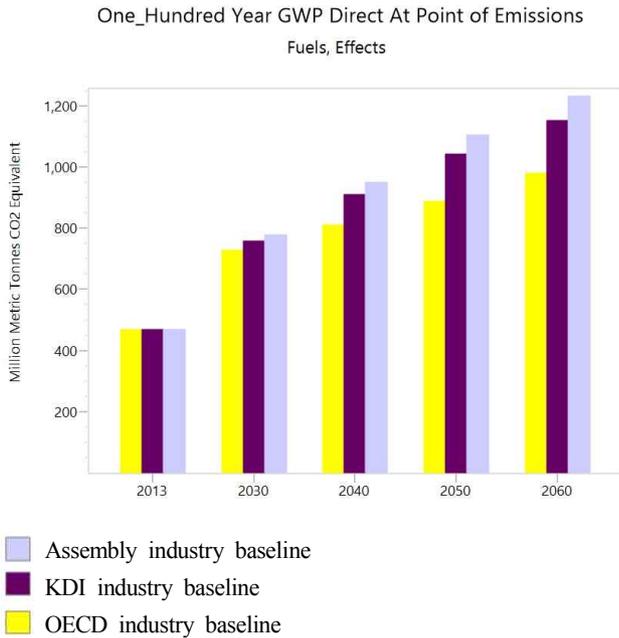


Fig. 2. GHG emissions by GDP scenario.

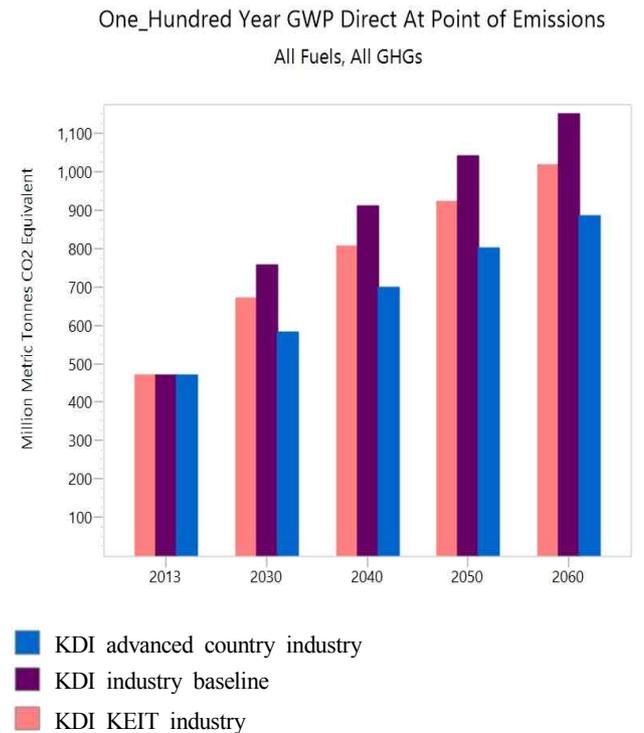


Fig. 3. GHG emissions by industry scenario.

화에 따른 온실가스 배출량을 살펴보면(Fig. 3), KI 시나리오(KDI Industry Baseline)의 경우, 2030년 7억 5,840만 CO₂eq

16) KDI의 GDP전망 시나리오의 산업구조 변화에 따른 온실가스 배출량을 비교한다.

구축한 모형에 반영할 수 있을 것이다.

둘째, 제조업과 서비스업 등 산업을 세분화해 산업별 부가가치 비중의 변화를 고려한 온실가스 배출량을 전망했다. 하지만 2030년 이후의 비중 전망 변화를 제시하지 못했다. 이는 산업별 부가가치 전망 자료가 없거나, 비공개 자료이기 때문이다. 산업의 발전비전을 전망하는 연구는 많은 시간과 인력을 투입해야 하는 광범위한 작업이다. 향후 한국 정부의 산업 발전 정책을 바탕으로 한 산업별 부가가치 전망 연구가 필요하다.

셋째, 향후 산업별 기술적 요소를 반영한 연구가 이어져야 한다. 본 연구는 산업별 에너지집약도의 변화를 고려하지 않았다. 즉, 2013년의 산업별 에너지집약도가 변화하지 않는다는 가정 하에 GDP와 산업 부가가치 변화를 고려해 온실가스 배출량을 전망했다.

넷째, 산업별 에너지원별 수요 전망을 고려해야 한다. 본 연구는 『제7차 전력수급기본계획』과 『제4차 신·재생에너지 기본계획』을 이용해 2030년 전원 구성을 전망하고, 이후는 2030년 비중을 유지하는 것으로 가정했다. 에너지원 구성 변화에 따라 온실가스 배출량이 크게 변화할 수 있기 때문에, 향후 2030년 이후 에너지 수요 전망 자료가 제시될 경우, 본 연구에서 구축한 모형에 반영해야 할 것이다.

다섯째, 본 연구에서 제시한 시나리오가 경제적 비용과 일자리 등 사회·경제적인 요소에 미치는 영향을 반영한 후속 연구가 필요하다. Victor(2012)는 ‘LowGrow’라는 거시경제 시뮬레이션 모형을 이용해 캐나다의 GDP 증가율 변화에 따른 온실가스 배출량과 실업률, 빈곤률 등을 종합적으로 분석했다. 한국의 경우도 한국개발연구원, 산업연구원 등 국책 연구기관의 거시경제모형을 이용해 경제성장과 산업구조 변화에 따른 온실가스 배출량 전망 시나리오뿐만 아니라, 경제·사회에 미치는 영향을 규명하는 종합적인 연구가 필요한 시점이다.

본 연구는 국내외의 주요 기관들의 GDP 증가율 전망을 반영하고, 산업별 세분화된 부가가치 전망을 토대로 온실가스 배출량을 산정해 비교했다는 점에서 의의가 있다. 향후 최근의 경제상황을 반영한 GDP와 산업구조 전망, 산업별 기술 전망, 에너지원별 구성 전망 자료가 제시되어야 한다. 이를 토대로 온실가스 배출량 전망 시나리오를 구성하고, 일자리 등 사회·경제적인 요소에 미치는 영향까지 반영하는 종합적인 연구를 수행해야 할 것이다.

6. 사 사

이 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Hong TH. 2015. The Korean economy: From crisis to stagnation. *Koreanische Zeitschrift fuer Wirtschaftswissenschaften* 33(4):23-45.
- International Monetary Fund. 2015. World economic outlook: Uneven growth-short- and long-term factors. Washington (April).
- International Monetary Fund. 2015. World economic outlook: Adjusting to lower commodity prices. Washington (October).
- International Monetary Fund. 2016. World economic outlook: Too slow for too long. Washington (April).
- Jo MH, Park NB, Jeon EC. 2013. Application of LEAP model to reduce GHG emissions from residential sector. *Journal of Climate Change Research* 4(3):211-219 (in Korean with English abstract).
- Jun SY, Park SW, Song HJ, Park JW. 2009. Assessment of GHG emission reduction potential in extension of nuclear and renewable energy electricity generation. *Journal of Energy Engineering* 18(3):191-202 (in Korean with English abstract).
- Kim HS. 2007. Bottom-up modeling for evaluating GHG mitigation options. *Journal of Energy & Climate Change* 2(1):49-58 (in Korean with English abstract).
- Kim JS. 2015. Institutional change and economic development strategy in Korea. *The Korean Journal of Economic Studies* 63(1):5-31 (in Korean with English abstract).
- Kim MW, Yoon YJ, Han J, Lee HS, Jeon EC. 2016. Analysis of GHG reduction potential on road transport sector using LEAP model. *Journal of Climate Change Research* 7(1):85-93 (in Korean with English abstract).
- Korea Development Institute. 2013. Long-term projection of potential growth in Korea economy (in Korean with English abstract).
- Lee CH, Kang HC, Lee MS. 2013. The direction of environmental-friendly energy policy. *Korea Environment Institute Focus*(1).
- Lee JH. 2010. A study on GHG emissions and mitigation potential of the industrial sector in Korea. Dissertation, Keimyung University (in Korean with English abstract).
- Lee Jin-Myon *et al.* 2012. Mid-& long-term projection of

- Korean industry considering an aging population. Korea Institute for Industrial Economics & Trade (in Korean with English abstract).
- Lee MS, Kim JH. 2013. Analysis on industrial structure change from a sustainable perspective. Korea Environment Institute Working Paper (in Korean with English abstract).
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2003. 2006. 2009. 2012. 2015. Energy consumption survey.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2015. 7th the master plan for electricity demand & supply (2015~2029).
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2015. Yearbook of energy statistics.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2015. New & renewable energy supply statistics 2014.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2014. 4th the master plan for new & renewable energy.
- National Assembly Budget Office (NABO). 2014. 2014-2060 long-term fiscal projection.
- OECD. 2016. Value added by activity (indicator). doi: 10.1787/a8b2bd2b-en Accessed on 2 May 2016.
- OECD. 2014. Interim economic assessment: Ongoing recovery for advanced economies, variation among emerging economies. Paris (March).
- OECD. 2012. Looking to 2060: A global vision of long-term growth. OECD Economics Department Policy Notes, No. 15 (November)
- Oh YS, Cho YA, Lee GW, Kim IC, Sung YY. 2011. Industrial structure advancement and industrial policies. Korea Institute for Industrial Economics & Trade (in Korean with English abstract).
- Park NB, Yun SJ, Jeon EC. 2013. An analysis of long-term scenarios for the transition to renewable energy in the Korean electricity sector. *Energy Policy* 52:288-296.
- Park SJ, Woo SK. 2012. GHG abatement potentials with bottom-up model in the transport sector. The Korea Transport Institute. Seoul.
- Park YS, Cho YH, Kim TO. 2013. Analysis of greenhouse gas reduction potential in a electronic · electrical components company using LEAP model. *Journal of Environmental Impact Assessment* 22(6):667-676 (in Korean with English abstract).
- Peter A. Victor. 2012. Growth, degrowth and climate change: A scenario analysis. *Ecological Economics* 84:206-212.
- Related Ministries Jointly. 2015. The action plans of post-2020 GHG reduction targets.
- Shim SR. 2005. Making out an energy input-output matrix. Korea Energy Economics Institute.
- Song SW. 2016. Analysis of greenhouse gas emission reduction in manufacturing sector through LEAP. Dissertation, Hanyang Cyber University (in Korean with English abstract).
- Yeom MB. 2016. Groping a new paradigm of fiscal policy in order to overcome fiscal trilemma in the low-growth age. *Korea Journal of Public Finance* 9(1):45-85 (in Korean with English abstract).
- Yoo JH, Park NB, Jo MH, Jeon EC. 2012. Analysis of greenhouse gas reduction potential in a university using bottom-up model. *Journal of Climate Change Research* 3(3):183-193 (in Korean with English abstract).