

대기오염을 유발하는 전기차의 역설: 한국의 미세먼지(PM_{2.5})

안상진(한국과학기술기획평가원 연구위원)

1. 서론

2015년 전 세계의 도로를 달리는 전기차의 수가 백만 대를 돌파하였다. 이것은 지난 10년 간 각국의 정부와 업계가 공동으로 지구 온난화를 막기 위하여 시행한 중대한 노력을 보여주는 상징적인 성과다. 전기차 이니셔티브(EVI: Electric Vehicles Initiative)는 2009년 OECD의 국제에너지 기구(IEA: International Energy Agency) 클린 에너지 장관회의 산하에 구성된 다국적 정책포럼으로, 본 포럼은 2020년까지 전 세계에 2천만 대의 전기차를 배치한다는 목표로 전 세계 전기차 보급을 가속하기 위해 노력해 왔다. EVI는 이러한 목표를 위해 보조금을 비롯한 정책 인센티브와 인프라를 강조하였고, 전기차를 도입함으로써 온실 가스를 감축시킬 수 있을 뿐만 아니라 대기 오염을 개선시키는 등 공동 이익(co-benefit)이 발생할 것이라고 주장해 왔다. 2017년 3월 우리나라에서도 테슬라 매장 두 곳이 영업을 시작하고 세계적인 추세에 따라 본격적인 전기차 시대를 열기 시작하였다.

새로운 발명은 역사적으로 종종 기대와는 다른 결과를 가져오기도 했으므로, 발명품을 사용해 기대하는 결과를 얻기 위해서는 우리가 믿고 있는 기본 가정을 점검할 필요가 있다. 전기차의 경우, 환경 친화적인 발명품이라는 믿음이 이것에 해당된다. 하지만 전기차가 정말로 환경 친화적인지 여부를 검증한 연구는 비교적 적은 편이다. 최근 들어 전기차의 수명주기 동안 생산되는 온실가스 배출량이 석유를 사용하는 전통적인 차량보다 반드시 적은 것은 아니라는 연구결과(Ellingsen, 2016; Luk et al., 2016; Yuksel et al., 2016)가 발표되기 시작하였다. 이처럼 전기차의 친환경성에 대하여 비판적인 관점에서 ‘우리나라에 도입된 전기차는 정말 대기오염을 개선시켜줄까?’라는 의문을 갖게 된 것이 본 연구의 동기다.

대기 오염과 관련하여 가장 주목을 받는 것은 열악한 공기에 장기간 노출됨으로써 건강이 위협받는 것을 들 수 있다. 이 중 미세먼지(PM_{2.5}: fine particulate matter)는 교통, 산업, 연료 연소, 자연발생 등 다양한 곳에서부터 배출되며, 전 세계적으로 연간 330만 명의 조기 사망을 초래하고 심혈관 및 호흡기 질환을 일으키는 것으로 알려져 있다. 대기오염에 의한 건강위험을 예방하기 위하여, 세계 보건기구(WHO)의 대기질 가이드 라인에서는 PM_{2.5}의 평균 연간 노출량에 대해 10 μm^3 미만의 농도 기준을 권장하고 있다. 세계 여러 나라에서 저마다 PM_{2.5}와 관련된 환경규제 기준(표 1)을 제정하는 것에서 알 수 있듯이, PM_{2.5}는 대기질과 관련된 가장 대표적인 지표가 되었다.

우리나라는 OECD 국가 중에서 PM_{2.5}의 환경규제 기준값을 초과하는 연간회수가 가장 높은 나라로

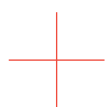


표 1
PM_{2.5} 관련
국가별 환경기준비교
(출처: 국립환경과학원,
2015)

알려져 있다. 그러므로 우리나라에 도입된 전기차가 대기오염을 저감시킨다는 주장이 정당화되기 위해서는, 그로 인한 PM_{2.5}의 저감 효과가 사회 전반적으로 나타난다는 것을 입증되어야 한다.

항목	주기	한국	미국	일본	캐나다	호주	홍콩	중국	영국	EU	WHO
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24시간	50	35	35	28	25	75	75	-	-	25
	년	25	15	15	10	8	35	35	25	25	10

2. 추정방법

전기차 도입으로 인한 사회 전반적인 PM_{2.5}의 배출효과를 추정하기 위해서 ① 국내 자동차 시장 중 전기차의 대체규모, ② 전기차 대체에 의한 도로 교통부문 PM_{2.5}의 배출효과, ③ 전기차에 사용되기 위하여 필요한 전력공급에 대한 예측이 필요하다. 우선 국내 자동차 시장 중 전기차의 대체규모(①)를 구하기 위하여, 1966년부터 2015년까지 등록차량의 통계(국토교통부, 2016)를 미래로 연장하여 회귀분석한 다음 전기차 이니셔티브(EVI)의 시장전망 시나리오(IEA, 2016)를 적용하였다. 전기차 대체에 의한 도로 교통부문 PM_{2.5}의 배출효과(②)를 위하여, 국립 환경과학원의 대기오염물질 배출량산정시스템(CAPSS)¹⁾에 국내 자동차 시장 중 전기차의 대체규모(①)를 적용하였다. 전기차에 사용되기 위하여 필요한 전력공급에 대한 예측(③)을 위해, 제7차 전력수급계획(산업통상자원부, 2015)에 따른 장래 추가 전력수급 구조가 유지된다고 가정한 다음 전기차의 대체규모(①)에 따라 추가되는 전력량을 적용하였다. 추정에 활용한 전기차 시장전망 및 전력수급계획은 다음과 같다.

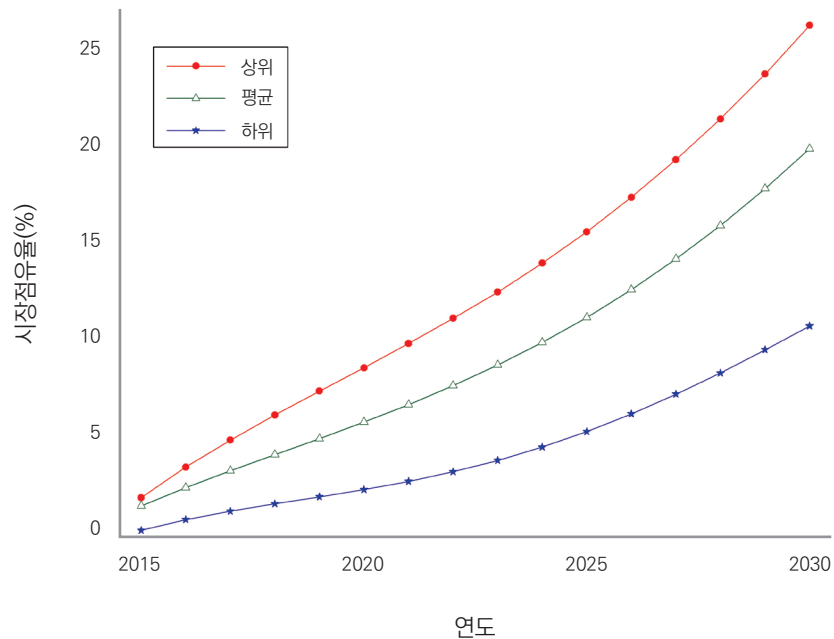
가. 전기차 시장전망 (IEA, 2016)

IEA는 최근 2030년의 지구온난화의 2℃ 시나리오 (2DS)의 목표를 기반으로 전기차 시장전망을 발표(IEA, 2016)했다. 여기에서는 세계가 2DS 목표를 달성할 때, 세계 각국의 전기차 시장이 점유율에 따라 크게 '상위', '평균', '하위'라는 3가지 그룹으로 구분할 수 있다고 전망(그림 1)하고 있다. '평균' 시나리오에서는 2015년부터 2025년까지 전기차의 연간 성장률이 25%이상, 2030년부터 2050년까지 연평균 성장률은 7%~10%로 유지된다고 한다. 실제 '노르웨이'나 '네덜란드'에서 초기에 전기차 점유율의 증가추세가 IEA의 '상위' 그룹의 시장전망보다 빨랐던 것을 감안한다면, IEA의 전기차 시장 확대 전망이 그다지 과도한 편은 아니다.

IEA는 중국, 유럽, 일본을 '상위' 그룹 국가로, 아프리카, 라틴 아메리카, 중동, 러시아를 '하위' 그룹 국가로 분류하고 있다. 비록 현재 우리나라의 보급률은 하위그룹에 속하지만, 향후 '평균' 그룹 국가 수준으로 전기차 시장이 확대될 가능성도 배제할 수 없다. 우리나라에서 전기차 보급에 따른 PM_{2.5} 발생량 추정을 위하여, IEA에서 보고한 '상위', '평균', '하위' 그룹을 예측을 위한 시나리오로 활용하였다.

1) <http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/index.do>

그림 1_
IEA 2DS목표를
달성하기 위한
전기차 시장전망
(IEA, 2016)



나. 제7차 전력수급계획(산업통상자원부, 2015)

정부는 2년 단위로 전력 수급의 기본방향, 전력수급의 장기전망, 발전설비 및 주요 송변전설비계획에 관한 사항, 전력수요의 관리에 관한 사항, 직전 기본계획에 대한 평가를 담은 전력수급계획을 수립한다. 가장 최근에 수립된 제7차 전력수급계획(산업통상자원부, 2015)에는 2015년부터 2029년까지 우리나라의 장기 전력수요와 공급계획이 수록되어 있다. 아쉽게도 제7차 전력수급계획에는 전기차 시장 확대에 따른 전력수요가 고려되지 않았다. 그럼에도 불구하고 불확실한 미래와 관련된 전력예비율이나 전력공급구조 등에 대한 가장 타당한 정보를 제공해줄 수 있다.

제7차 전력수급계획에서는 발전기 고장 등에 대비한 최소예비율 15% 이상 확보하는 것을 목표로 하고, 공급의 불확실성에 따른 예비율을 추가로 7%정도 고려하여 2029년 22%의 예비율을 목표로 설정하였다. 그러므로 전기차 시장 확대에 의해 필요한 추가전력을 제7차 전력수급계획의 예비율 범위 내에 포함한다면, 이로 인한 블랙아웃은 발생되지 않을 것이다. 아울러 $PM_{2.5}$ 배출량 추정을 위한 에너지 믹스의 기초자료도 제공하고 있다. 전력 공급을 위한 전원 구성비의 경우 2029년 정격용량 기준으로 유연탄(26.4%), 원자력(23.4%), LNG(20.6%), 신재생(20.1%)순, 피크기여도 기준으로 유연탄(31.8%), 원자력(28.2%), LNG(24.8%)순으로 전원을 구성할 계획이다. 본 연구에서는 전기차를 사용하기 위해 필요한 전력을 생산하는 과정에서 발생하는 $PM_{2.5}$ 배출량을 추정하기 위하여, 1년 단위로 정격용량에 의한 에너지 믹스에 따라 전력공급이 이루어진다고 가정하였다.

표 2_
전원 구성비 전망
[단위: MW, %]
(산업통상자원부,
2015)

구분		원자력	유연탄	무연탄	LNG	석유	양수	신재생	집단	계
2014 (기설)	정격 용량	20,716	25,149	1,125	26,742	3,850	4,700	6,241	4,693	93,216
		22.2	27	1.2	28.7	4.1	5	6.7	5	100
	피크 기여도	20,716	25,149	1,125	26,742	3,740	4,700	1,846	4,137	88,155
		23.5	28.5	1.3	30.3	4.2	5.3	2.1	4.7	100
2018	정격 용량	26,729	34,873	725	33,616	3,795	4,700	13,416	7,684	125,538
		21.3	27.8	0.6	26.8	3	3.7	10.7	6.1	100
	피크 기여도	26,729	34,873	725	33,616	3,685	4,700	3,706	6,590	114,624
		23.3	30.4	0.6	29.3	3.2	4.1	3.2	5.7	100
2020	정격 용량	26,729	36,913	725	35,567	3,795	4,700	17,273	8,479	134,181
		19.9	27.5	0.5	26.5	2.8	3.5	12.9	6.3	100
	피크 기여도	26,729	36,913	725	35,567	3,685	4,700	4,105	7,385	119,809
		22.3	30.8	0.6	29.7	3.1	3.9	3.4	6.2	100
2025	정격 용량	32,329	43,293	725	33,767	1,195	4,700	26,098	8,969	151,076
		21.4	28.7	0.5	22.4	0.8	3.1	17.3	5.9	100
	피크 기여도	32,329	43,293	725	33,767	1,085	4,700	5,518	7,875	129,292
		25	33.5	0.6	26.1	0.8	3.6	4.3	6.1	100
2029	정격 용량	38,329	43,293	725	33,767	1,195	4,700	32,890	8,969	163,868
		23.4	26.4	0.4	20.6	0.7	2.9	20.1	5.5	100
	피크 기여도	38,329	43,293	725	33,767	1,085	4,700	6,323	7,875	136,097
		28.2	31.8	0.5	24.8	0.8	3.5	4.6	5.8	100
	6차 (27)	27.4	34.1	0.6	24.3	0.9	3.6	4.5	4.6	100

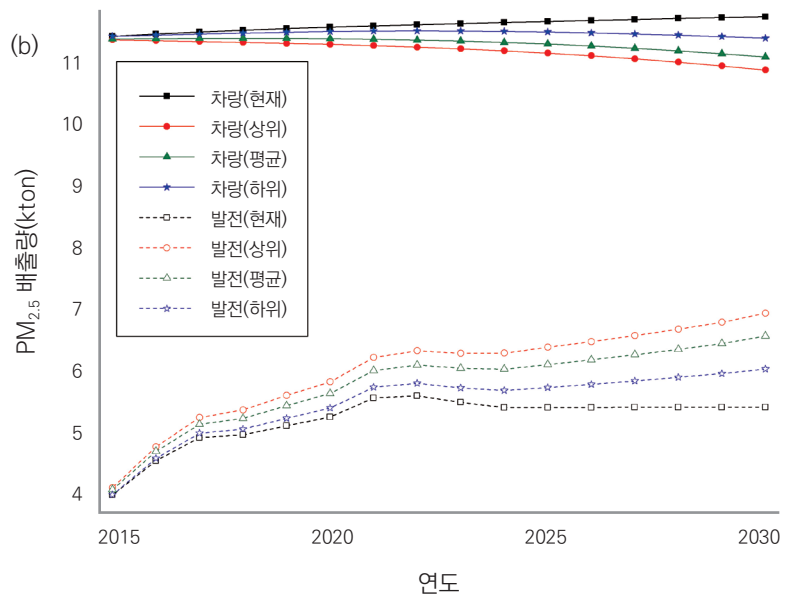
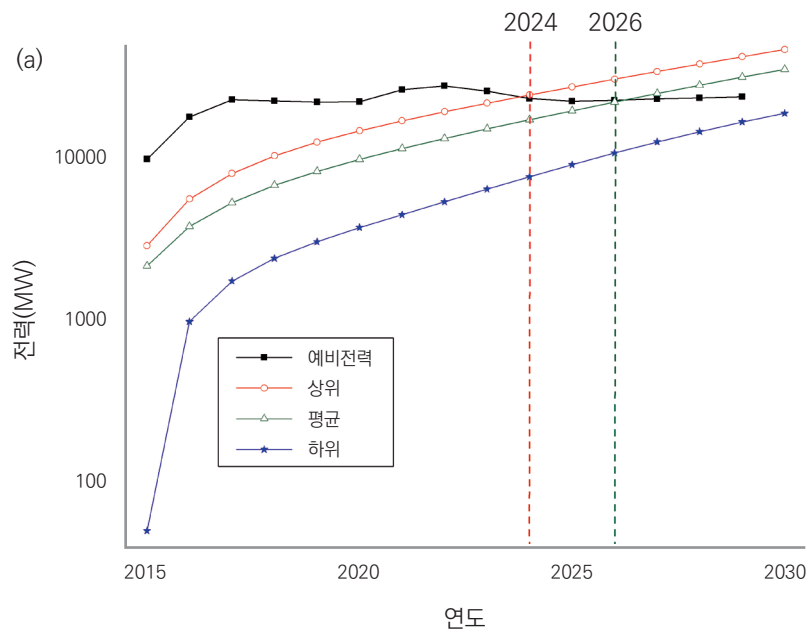
3. 예측결과

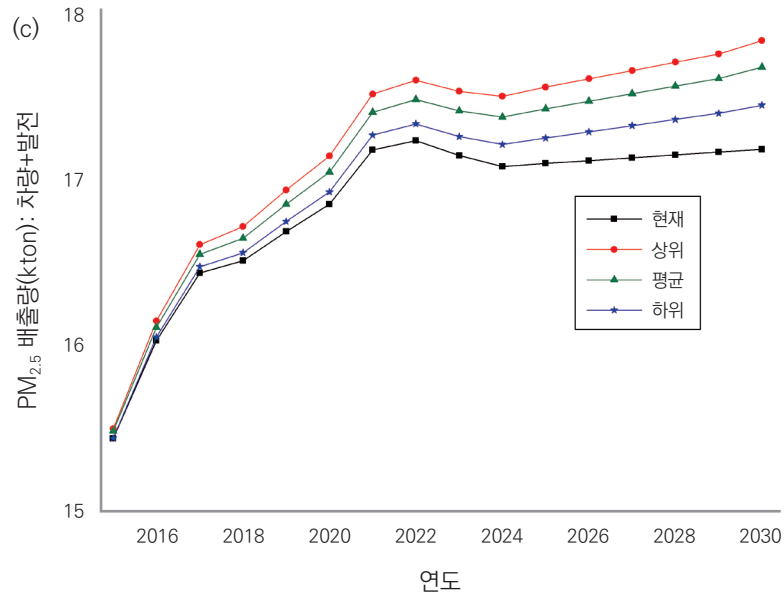
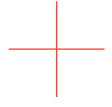
전기차 보급 시나리오에 따라 2030년까지의 전력부하, 도로이동오염원(차량) 부문 PM_{2.5} 배출량 변화, 발전부문 PM_{2.5} 배출량 변화, 지역별 PM_{2.5} 배출농도변화를 추정해 보았다.

추정결과 전기차의 운행에 위해 필요한 전력량은 전기차 보급시나리오에 따라 다르지만, 우리나라의 전기차 보급이 EVI에서 제시한 세계 ‘평균’ 또는 ‘상위’ 그룹의 시나리오로 성장하는 경우 향후 10년

이내에 예비전력을 초과할 것이라 예상(그림 2 (a))된다. 정부의 전력수급계획이 2년마다 갱신된다는 점을 감안하면, 전기차 시장의 확대에 야기되는 블랙아웃을 미리 준비할 시간은 있다. 하지만 10년 이내에 구축이 가능한 발전설비는 주로 화력발전에 집중되어 있기 때문에, 전력당국은 향후 전기차 운행을 위한 전력을 공급하기 위하여 아이러니하게도 PM_{2.5}를 배출하는 전원을 선택할 수밖에 없는 상황에 처하게 될 것이다.

그림 2_
전기차 보급
시나리오에 따른
(a)전력부하;
(b)부문별(차량, 발전)
PM_{2.5} 배출량;
(c)총 PM_{2.5}
배출량 추정.



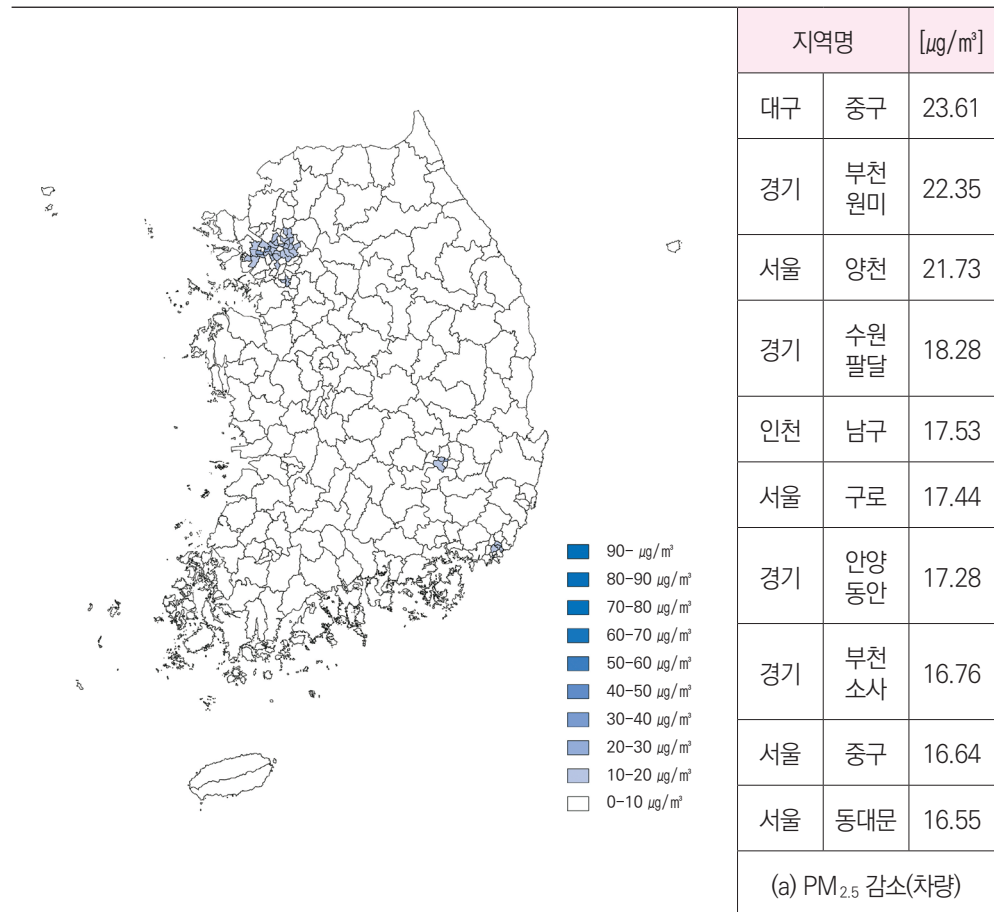


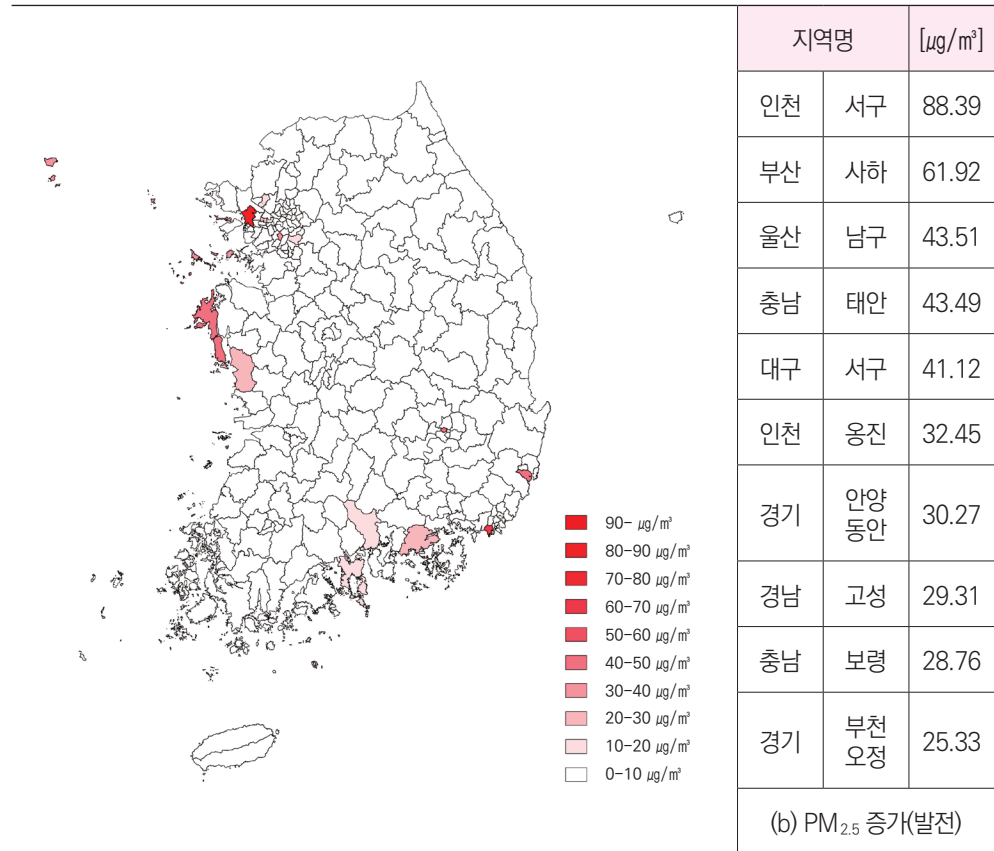
2030년까지 도로오염원(차량) 부문과 발전부문 $PM_{2.5}$ 배출량 변화를 추정한 결과(그림 2 (b))에 따르면, 전기차 시장이 확대됨에 따라 도로오염원(차량)에서 배출되는 $PM_{2.5}$ 의 양은 감소하지만 전력생산을 위해 배출되는 양은 오히려 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 2030년도 전국의 국토면적을 기준으로 한 $PM_{2.5}$ 평균농도로 평가할 수 있다. 우리나라에 전기차가 세계 평균수준으로 보급될 경우 도로이동오염원(차량) 부문에 의하여 $0.653\mu g/m^3$ 낮아지지만 발전부문의 배출에 의해 $1.147\mu g/m^3$ 상승하므로, 결국 전국적으로 $PM_{2.5}$ 배출밀도는 $0.494\mu g/m^3$ 상승하게 된다. 즉, 전기차 시장이 확대됨에 따라 도로오염원에서 감소하는 $PM_{2.5}$ 의 양에 비하여 발전부문에서 배출되는 양이 더 크기 때문에, 전기차 시장이 확대됨에 따라 사회 전체적으로 배출되는 $PM_{2.5}$ 는 증가할 것(그림 2 (c))이다.

전기차는 환경 친화적인 발명품이라는 다수의 인식이 존재함에도 불구하고, 이처럼 사회 전체적으로 $PM_{2.5}$ 의 배출을 증가시켜 대기오염을 유발하는 것으로 나타나는 이유는 다음과 같다. 승용차 시장은 전체 자동차 시장 중 대부분을 차지하며 전기차 업체를 위한 매력적인 기회의 장을 제공하고 있고, 전기차가 목표로 하는 시장도 대부분 승용차에 집중되어 있다. 하지만 실제 승용차 한 대에서 배출되는 $PM_{2.5}$ 의 양은 화물차나 중장비 한 대에서 배출되는 양에 비하여 적다. 특히 전기차에 의한 $PM_{2.5}$ 저감효과를 객관적으로 평가하기 위해서, 같은 크기의 에너지를 위하여 휘발유나 경유가 연소될 때 배출되는 $PM_{2.5}$ 양과 전력생산을 위해 배출되는 $PM_{2.5}$ 양을 비교하여야 한다. 그림 2는 그 해답으로 우리나라에서 휘발유나 경유가 연소될 때 배출되는 $PM_{2.5}$ 양이 전력생산을 위해 배출되는 $PM_{2.5}$ 양보다 적음을 보여준다. 현재 전력공급을 위한 에너지 믹스를 고려할 때 여전히 석탄 화력 발전의 비중이 높은 편이다. 게다가 상대적으로 $PM_{2.5}$ 에 취약한 전력생산구조는 제7차 전력수급계획의 기간 내에 극적으로 변화하기 어려운 점을 감안하면, 2030년 이전 우리나라에서 전기차 시장이 확대됨으로 인하여 $PM_{2.5}$ 배출이 증가하게 되는 역설적 현상이 발생하게 될 것이다.

그림 3_ 2030년까지 세계평균수준으로 전기차 시장이 확대될 경우, 지역별·발생원별 PM_{2.5} 농도변화

전기차에 의한 대기질 개선과 발전부문에 의한 대기질 악화를 종합한 추정결과를 지역별로 살펴보았다. 우리나라에 세계 평균수준으로 전기차가 보급될 경우, 2030년 전국 251개 시군구 중에서 228개 지역의 PM_{2.5} 농도는 평균 3.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮아지는 반면 23개 지역의 PM_{2.5} 농도는 18.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 상승하게 된다. PM_{2.5} 농도가 증가하는 지역의 경우, 전기차 도입에 의한 농도의 증가만으로도 WHO를 비롯한 국제 환경기준을 초과한다. 이것은 전기차 도입효과에 따른 지자체간 이해관계가 다르게 나타날 수 있음을 시사한다. 서울의 배출량 저감효과(평균: 13.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소)는 모든 지역구에 걸쳐 나타나리라 예상된다. 하지만 서울의 미세먼지 배출영향권인 인천 서구(83.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 용진군(32.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 경기도 부천시오정구(16.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 안양시 동안구(12.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 고양시 일산동구(10.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 성남시 분당구(6.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서는 배출밀도가 오히려 증가할 것이다. 결과적으로 전기차가 대중화됨에 따라 대도시 PM_{2.5} 배출이 일부 감소할 수 있겠지만, 인근 화력발전소가 위치한 지역에서는 오히려 환경기준치를 초과하는 수준으로 PM_{2.5}가 배출될 것이다(그림 3). 그러므로 전기차 관련 지자체의 정책이 전국 단위로 조율되지 않는다면, 정책 수립할 때 기대한 효과와 상반되는 결과를 초래하게 된다.





4. 시사점

본고의 추정결과는 전기차 개발 및 보급, 전력 수급 등의 관점에서 우리에게 추가로 고민할 과제를 남겨준다.

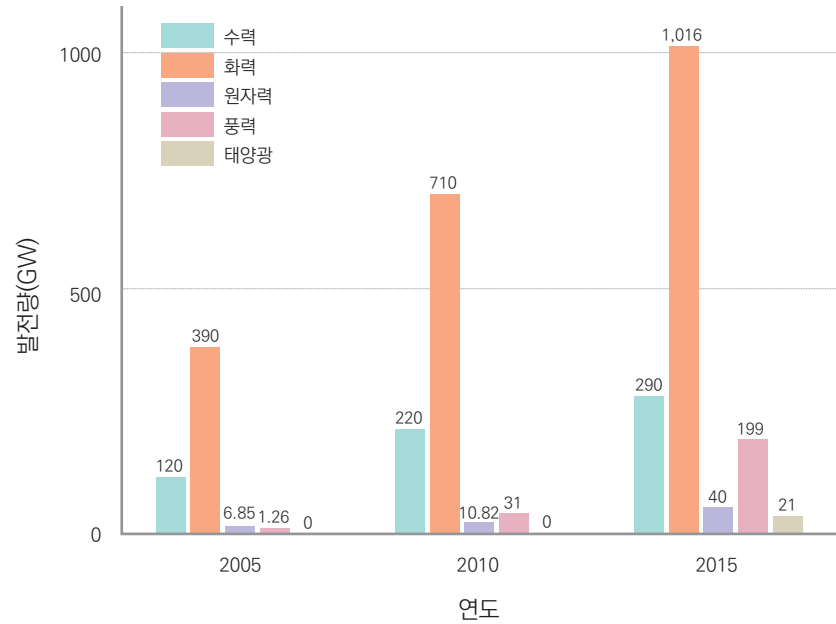
친환경 차량의 보급은 전 지구적으로 온실가스 배출을 줄이기 위한 대표적인 수단이며, 그 중 유망한 아이템으로 꼽히는 전기차 보급은 거스르기 어려운 추세이다. 이러한 추세에 맞추어 전기차 보급이 국내에 미치는 실질적인 환경영향을 고려한 보급계획을 수립하여야 한다. 하지만 블로그 담론(KISTEP, 2016; 안상진, 2017)에서 나타난 시민인식은 전기차는 환경친화적이라는 가정 하에, 산업발전의 시각에서 성장하는 <전기차> 시장에 편승하기 위한 보조금 혹은 충전소 설치에 대한 논의가 주류를 이루고 있다. 정부의 '환경친화적 자동차 개발 및 보급 기본계획(관계부처 합동, 2015)'도 블로그에 나타난 시민인식과 궤를 같이하며 전기차 도입의 국내 환경영향에 대하여 종합적으로 고려되지 않아, 향후 수립될 계획에서는 개발목표와 보급목표를 분리시키는 것이 바람직할 것이다. 친환경차 보급 로드맵은 환경친화적 전력공급원 비율의 상승추이에 맞추어 실질적 저감효과를 기대할 수 있도록 수립되어야 한다. 이를 실천하는 과정에서 전기차 보급을 위한 지원정책(예, 구매보조금)을 지자체

재량에만 맡길 경우, 당초 취지와 다른 결과를 초래할 수 있어 중앙정부를 중심으로 전국 단위로 조율하는 것도 중요한 사안이다. 전기차에 의한 배출감소효과가 나타나는 지자체의 수가 많기 때문에 지역적으로 전기차 보급이익이 크다고 판단하겠지만, 우리나라의 중앙집중형 전력공급체제로 인하여 전력부문 효과는 중앙정부에서 정확히 판단할 수 있기 때문이다.

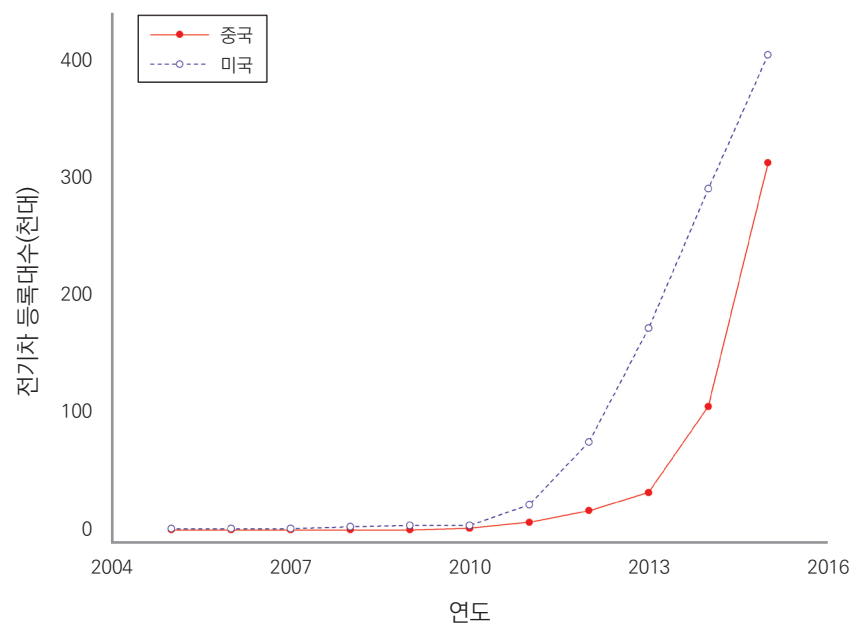
전기차의 성장 속도는 예상보다 빠르지만, 발전소의 전력공급은 추가되는 전기수요를 충족시킬 수 있을 정도로 충분히 유연하지 않다. 비록 장기적으로는 신재생에너지가 대안일 수 있겠지만, 단기 및 중기적으로는 전기차 보급으로 변화될 전력수급 상황에 맞게 현실적인 에너지 믹스에 대한 사회적인 합의가 필요하다. 대통령의 공약에 따라 에너지믹스에 대한 재검토가 진행되고 있고, 제8차 전력수급기본계획에서는 이러한 논의가 본격화될 것으로 기대된다. 이 과정에서 7차 계획에서 고려되지 않았던 전기차 변수를 진지하게 고려하여야 할 것이다. 하지만 전력공급 증가와 관련된 시민담론은 신재생에너지에 대한 막연한 기대, 석탄 화력발전소의 대기오염문제, 원자력 발전소 사고에 대한 우려에 집중되어 있어, 향후 에너지 믹스에 대한 사회적 합의에 이르기까지 많은 진통이 예상(KISTEP, 2016; 안상진, 2017)된다. 이처럼 예상되는 사회적 갈등을 극복하기 위해서, 여러 이해당사자들이 전력공급 방식에 따른 장단점을 올바르게 이해하는 과정에서 논의의 균형점을 찾아가야 할 것이다. 향후 수요측면에서는 전기에너지에 대한 과도한 전환수요 억제, 스마트그리드와 같은 효율적인 수급시스템 구축과 함께, 공급측면에서는 신재생에너지의 그리드패리티를 앞당기기 위해 연구개발을 포함한 다양한 지원도 필요하다.

대기오염을 유발하는 전기차의 역설이 우리에게서 미래의 일일 수 있지만, 전기차가 일찍 보급된 중국을 포함한 다른 나라에서는 현재진행형일 수 있다. 중국 정부는 대기오염과 석유공급에 대한 위험을 줄이기 위하여, 전기차를 적극적으로 도입하여 왔다. 그 결과 중국은 2015년 미국을 제치고 전기차의 최대 시장으로 부상하였다. 그럼에도 불구하고 중국의 전력공급은 우리나라보다 더 큰 비율로 석탄 화력발전에 크게 의존[그림 4 (a)]하고 있다. 2013년 이후 베이징 주변 중국의 중심지인 징진지(京津冀) 지역의 $PM_{2.5}$ 가 지속적으로 심화(Lin & Tan, 2017)되어 왔다고 알려졌는데, 같은 기간 동안 중국내 전기차가 급격하게 증가[그림 4 (b)]했을 뿐 아니라 우리나라에서 $PM_{2.5}$ 에 대한 관심도 현저하게 증가[그림 4 (c)]하였다. 비록 전기차 시장 확대가 중국내 미세먼지 증가의 주된 원인이 되는 것은 아니겠지만, 이상의 세 가지 간접증거로부터 중국내 산업화와 함께 전기차 보급대수의 증가가 전기수요를 증가시킨 다양한 원인 중 하나로 작용하였음을 추론할 수 있게 해준다. 그리고 이것은 중국의 미세먼지 문제와 분리하여 생각할 수 없다. 이처럼 개별정책이 사회 전체적 관점에서 상위정책과 조율되지 않을 경우 의도한 결과와 상반되는 결과를 초래할 수 있다. 환경친화적인 목적으로 중국에서 전기차 보급을 확대될수록 미세먼지 배출이 증가될 수 있다는 역설적인 상황은 시스템 차원의 실패와 관련된 하나의 사례로 이해될 수 있으며, 우리의 미세먼지 문제도 같은 맥락에서 접근하여야 할 것이다.

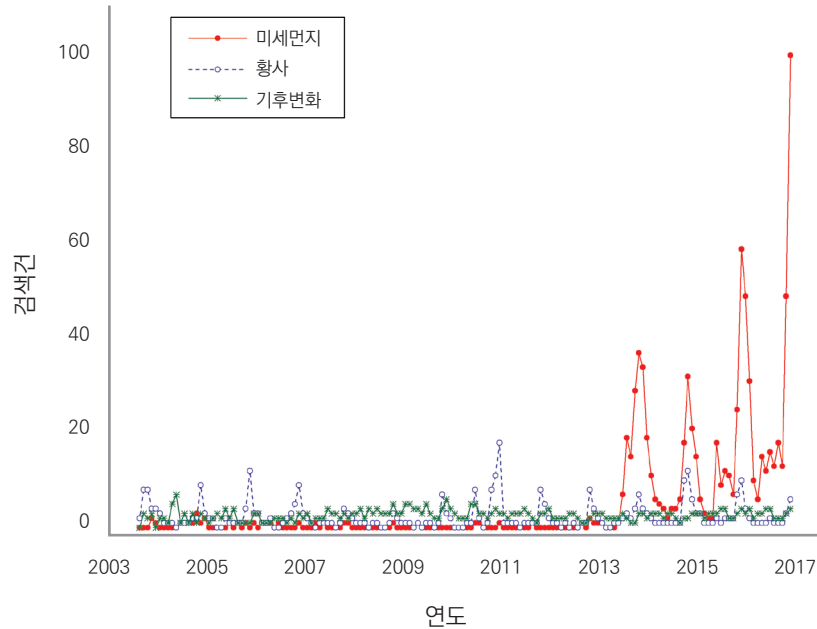
그림 4
중국내
대기오염을 유발하는
전기차의 역설의
발생에 대한 간접증거
(출처: 구글트렌드).



(a) 중국의 전력설비 구성(중국 전국인민대표회의, 2010)



(b) 전기차 등록대수(IEA, 2016)

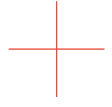


(c)대표적 환경 주제어에 대한 우리나라의 검색추이

4. 결론

전기차는 석유를 사용하는 자동차에 비해 다양한 장점을 갖고 있다고 알려져 있고, 자동차 배기가스를 크게 감축시키는 것은 전기차의 친환경적인 특성을 대표하는 장점이다. 하지만 전기차 보급만으로는 대기오염원을 단순히 도로에서 발전소로 이동시키는 것 이상도 이하도 아니기 때문에, 전기차가 진정으로 대기질을 개선시킬 수 있을지는 불확실하다. 이 연구에서는 전기차가 더 많이 보급될수록, 전력생산을 위해 배출되는 $PM_{2.5}$ 의 양이 석유를 이용하던 차량의 배기가스에서 배출되는 양보다 클 수 있음을 보여주었다. 아울러 전기차의 급속한 보급은 안정적인 에너지의 공급과 수요를 위협할 가능성이 있다는 사실을 함께 보여주었다. 전력공급 구조뿐 아니라 미디어 담론에서 나타난 시민의식을 고려할 때, 우리사회가 아직은 전기차를 환경 친화적으로 사용할 수 있을 만큼 충분히 성숙되지 않았다는 점도 강조하였다.

전기차의 발전 속도는 신재생 에너지의 발전 속도보다 빠르기 때문에, 신재생 에너지의 상용화가 타당해질 때까지 발생가능성이 있는 환경 위협에 대비하여야 한다. 그러므로 이제는 시민사회와 정책 입안자를 비롯한 다양한 이해관계자들은 우리사회에서 합리적으로 받아들여질 수 있는 에너지 믹스에 대한 합의에 이를 수 있도록 노력하여야 할 시점이다. 이 과정에서 전력공급 방식에 따른 장단점과 관련된 시민사회의 올바른 이해가 전제되어야 하는데, 원자력의 방사능 피폭, 화석 연료의 지구 온난화 및 대기 오염, 신재생에너지의 공급 불안정성 및 높은 발전 단가는 반드시 고려되어야 할 사항이다.



환경의 영향이 미치는 범위와 정책의 기능이 미치는 범위 사이에는 차이가 존재한다. 그 결과, 환경이슈별 이해관계를 달리하는 주체가 제각기 정책을 수립하게 되면 사회 전체적으로는 긍정적이지 못한 결과를 초래할 수 있다. 이러한 미래위험의 대비를 위해 국가차원의 일관된 정책을 위한 중앙정부의 조율이 필요하며, 지구적인 차원으로는 다국적 협력이 필요하다. 전기차에 의한 역설적인 환경위험이 거대한 실체로 나타나기 전인 바로 지금이 이러한 노력을 시작할 때다.

참고문헌

- 교통안전공단, 2015. 자동차주행거리 통계.
- 국토교통부, 2016. 17개 시·도의 자동차등록현황조사.
- 국립환경과학원, 2016. 대기환경연보 2015.
- 관계부처합동, 2015. 제3차 환경친화적자동차 개발 및 보급 기본계획.
- 산업통상자원부, 2015. 제7차 전력수급기본계획(2015~2029).
- 안상진, 2017. 대기오염을 유발하는 전기차의 역설: 전기차 보급에 따른 미세먼지 배출전망. KISTEP 이슈페이퍼 2017-03.
- 중국전국인민대표회의, 2010. 에너지발전 12.5계획(2011~2015).
- Ellingsen, L. A.-W., Singh, B., Strømman, A.H., 2016. Impact of non-petroleum vehicle fuel economy on GHG mitigation potential. Environ. Res. Lett. 11, 054010.
- IEA, 2016. Global EV Outlook.
- KISTEP, 2016. 2016년 과학기술예측기반강화연구: 제3권 전기차 보급 및 전력 공급 시나리오별 한국의 미세먼지 전망. 연구보고 2017-037.
- Lin, B., Tan, R., 2017. Estimation of the environmental values of electric vehicles in Chinese cities. Energy Policy 104, 221-229.
- Luk, J.M., Saville, B.A., Maclean, H.L., 2016. Impact of non-petroleum vehicle fuel economy on GHG mitigation potential. Environ. Res. Lett. 11, 04401.
- Yuksel, T., et al., 2016. Effect of regional grid mix, driving patterns and climate on the comparative carbon footprint of gasoline and plug-in vehicles in the United States. Environ. Res. Lett. 11, 04407.

부록
 세계평균 수준으로
 전기차가 보급될 경우,
 전국 시군구별
 PM_{2.5} 배출량 변화
 (2030년)

시도	시군구	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변화		
		도로이동오염원(A)	전력생산(B)	합계(A+B)
서울특별시	종로구	-6.84	0.00	-6.84
서울특별시	중구	-16.64	0.00	-16.64
서울특별시	용산구	-9.47	0.00	-9.47
서울특별시	성동구	-13.87	0.00	-13.87
서울특별시	광진구	-15.08	0.00	-15.08
서울특별시	동대문구	-16.55	0.00	-16.55
서울특별시	종량구	-14.73	0.00	-14.73
서울특별시	성북구	-12.87	0.00	-12.87
서울특별시	강북구	-8.31	0.00	-8.31
서울특별시	도봉구	-11.97	0.00	-11.97
서울특별시	노원구	-11.46	0.00	-11.46
서울특별시	은평구	-11.18	0.00	-11.18
서울특별시	서대문구	-12.09	0.00	-12.09
서울특별시	마포구	-12.96	8.98	-3.98
서울특별시	양천구	-21.73	0.00	-21.73
서울특별시	강서구	-11.45	0.00	-11.45
서울특별시	구로구	-17.44	0.14	-17.30
서울특별시	금천구	-15.36	0.00	-15.36
서울특별시	영등포구	-13.96	0.00	-13.96
서울특별시	동작구	-16.31	0.00	-16.31
서울특별시	관악구	-10.53	0.00	-10.53
서울특별시	서초구	-10.29	0.00	-10.29
서울특별시	강남구	-16.25	0.00	-16.25
서울특별시	송파구	-16.35	0.00	-16.35
서울특별시	강동구	-14.02	0.00	-14.02
부산광역시	중구	-14.8	0.00	-14.80
부산광역시	서구	-5.08	0.00	-5.08
부산광역시	동구	-7.89	0.00	-7.89
부산광역시	영도구	-5.85	0.00	-5.85
부산광역시	부산진구	-11.84	0.00	-11.84
부산광역시	동래구	-13.12	0.00	-13.12
부산광역시	남구	-8.81	0.00	-8.81
부산광역시	북구	-5.89	0.00	-5.89
부산광역시	해운대구	-7.24	0.00	-7.24
부산광역시	사하구	-6.4	61.92	55.52
부산광역시	금정구	-3.2	0.00	-3.20
부산광역시	강서구	-1.7	0.00	-1.70
부산광역시	연제구	-16.25	0.00	-16.25
부산광역시	수영구	-15.87	0.00	-15.87
부산광역시	사상구	-6.15	0.00	-6.15
부산광역시	기장군	-0.75	0.08	-0.67
대구광역시	중구	-23.61	0.00	-23.61



시도	시군구	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변화		
		도로이동오염원(A)	전력생산(B)	합계(A+B)
대구광역시	동구	-2.06	0.00	-2.06
대구광역시	서구	-12.46	41.12	28.66
대구광역시	남구	-9.18	0.00	-9.18
대구광역시	북구	-5.36	0.00	-5.36
대구광역시	수성구	-8.02	0.00	-8.02
대구광역시	달서구	-10.75	0.00	-10.75
대구광역시	달성군	-0.55	0.00	-0.55
인천광역시	중구	-1.85	0.00	-1.85
인천광역시	동구	-9.2	0.00	-9.20
인천광역시	남구	-17.53	1.71	-15.82
인천광역시	연수구	-7.38	5.55	-1.83
인천광역시	남동구	-10.48	0.41	-10.07
인천광역시	부평구	-14.73	0.00	-14.73
인천광역시	계양구	-10.52	0.00	-10.52
인천광역시	서구	-4.55	88.39	83.84
인천광역시	강화군	-0.16	0.00	-0.16
인천광역시	옹진군	-0.12	32.45	32.33
광주광역시	동구	-2.18	0.00	-2.18
광주광역시	서구	-7.84	0.00	-7.84
광주광역시	남구	-3.85	0.00	-3.85
광주광역시	북구	-4	0.00	-4.00
광주광역시	광산구	-1.93	0.60	-1.33
대전광역시	동구	-2.02	0.00	-2.02
대전광역시	중구	-5.3	0.00	-5.30
대전광역시	서구	-6.73	0.00	-6.73
대전광역시	유성구	-2.69	0.00	-2.69
대전광역시	대덕구	-3.76	0.00	-3.76
울산광역시	중구	-7.27	0.00	-7.27
울산광역시	남구	-6.26	43.51	37.25
울산광역시	동구	-4.66	0.00	-4.66
울산광역시	북구	-1.69	0.00	-1.69
울산광역시	울주군	-0.61	0.00	-0.61
세종특별자치시	세종시	-0.46	0.29	-0.17
경기도	수원시 장안구	-9.49	0.00	-9.49
경기도	수원시 권선구	-9.52	0.00	-9.52
경기도	수원시 팔달구	-18.28	0.00	-18.28
경기도	수원시 영통구	-12.69	0.00	-12.69
경기도	성남시 수정구	-6.9	0.00	-6.90
경기도	성남시 중원구	-8.96	0.00	-8.96
경기도	성남시 분당구	-8.73	15.05	6.32
경기도	의정부시	-5.23	0.00	-5.23
경기도	안양시 만안구	-6.43	0.00	-6.43

부록
 세계평균 수준으로
 전기차가 보급될 경우,
 전국 시군구별
 PM_{2.5} 배출량 변화
 (2030년)

시도	시군구	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변화		
		도로이동오염원(A)	전력생산(B)	합계(A+B)
경기도	안양시 동안구	-17.28	30.27	12.99
경기도	부천시 원미구	-22.35	0.00	-22.35
경기도	부천시 소사구	-16.76	0.00	-16.76
경기도	부천시 오정구	-9.17	25.33	16.16
경기도	광명시	-8.2	0.80	-7.40
경기도	평택시	-1.45	2.22	0.77
경기도	동두천시	-1.19	0.00	-1.19
경기도	안산시 상록구	-7.01	0.00	-7.01
경기도	안산시 단원구	-4.68	4.48	-0.20
경기도	고양시 덕양구	-3.26	0.00	-3.26
경기도	고양시 일산동구	-6.09	16.53	10.44
경기도	고양시 일산서구	-8.23	0.00	-8.23
경기도	과천시	-3.03	0.00	-3.03
경기도	구리시	-5.81	0.00	-5.81
경기도	남양주시	-1.56	0.16	-1.40
경기도	오산시	-5.93	0.00	-5.93
경기도	시흥시	-3.49	0.48	-3.01
경기도	군포시	-7.33	0.00	-7.33
경기도	의왕시	-3.77	0.00	-3.77
경기도	하남시	-2.86	0.00	-2.86
경기도	용인시 처인구	-0.96	0.00	-0.96
경기도	용인시 기흥구	-6.08	0.00	-6.08
경기도	용인시 수지구	-9.06	0.00	-9.06
경기도	파주시	-0.89	0.00	-0.89
경기도	이천시	-1.26	0.00	-1.26
경기도	안성시	-0.99	0.00	-0.99
경기도	김포시	-1.56	0.00	-1.56
경기도	화성시	-1.29	0.00	-1.29
경기도	광주시	-1.38	0.00	-1.38
경기도	양주시	-0.88	0.00	-0.88
경기도	포천시	-0.38	0.00	-0.38
경기도	여주시	-0.59	0.00	-0.59
경기도	연천군	-0.09	0.00	-0.09
경기도	가평군	-0.2	0.00	-0.20
경기도	양평군	-0.23	0.00	-0.23
강원도	춘천시	-0.41	0.00	-0.41
강원도	원주시	-0.58	0.00	-0.58
강원도	강릉시	-0.35	0.62	0.27
강원도	동해시	-0.87	4.72	3.85
강원도	태백시	-0.29	0.00	-0.29
강원도	속초시	-1.29	0.00	-1.29
강원도	삼척시	-0.11	0.00	-0.11



시도	시군구	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변화		
		도로이동오염원(A)	전력생산(B)	합계(A+B)
강원도	홍천군	-0.09	0.00	-0.09
강원도	횡성군	-0.17	0.00	-0.17
강원도	영월군	-0.07	0.83	0.76
강원도	평창군	-0.12	0.00	-0.12
강원도	정선군	-0.08	0.00	-0.08
강원도	철원군	-0.07	0.00	-0.07
강원도	화천군	-0.07	0.00	-0.07
강원도	양구군	-0.07	0.00	-0.07
강원도	인제군	-0.07	0.00	-0.07
강원도	고성군	-0.08	0.00	-0.08
강원도	양양군	-0.12	0.00	-0.12
충청북도	청주시 상당구	-5.38	0.00	-5.38
충청북도	청주시 흥덕구	-7.52	0.00	-7.52
충청북도	충주시	-0.36	0.00	-0.36
충청북도	제천시	-0.24	0.00	-0.24
충청북도	청원군	-0.69	0.00	-0.69
충청북도	보은군	-0.16	0.00	-0.16
충청북도	옥천군	-0.2	0.00	-0.20
충청북도	영동군	-0.12	0.00	-0.12
충청북도	진천군	-0.47	0.00	-0.47
충청북도	괴산군	-0.18	0.00	-0.18
충청북도	음성군	-0.46	0.00	-0.46
충청북도	단양군	-0.12	0.00	-0.12
충청북도	증평군	-0.51	0.00	-0.51
충청남도	천안시 동남구	-0.96	0.13	-0.83
충청남도	천안시 서북구	-2.45	0.00	-2.45
충청남도	공주시	-0.45	0.00	-0.45
충청남도	보령시	-0.28	28.76	28.48
충청남도	아산시	-0.91	0.00	-0.91
충청남도	서산시	-0.36	0.10	-0.26
충청남도	논산시	-0.57	0.00	-0.57
충청남도	계룡시	-1.08	0.00	-1.08
충청남도	당진시	-0.48	7.71	7.23
충청남도	금산군	-0.21	0.00	-0.21
충청남도	부여군	-0.15	0.00	-0.15
충청남도	서천군	-0.26	3.87	3.61
충청남도	청양군	-0.14	0.00	-0.14
충청남도	홍성군	-0.29	0.00	-0.29
충청남도	예산군	-0.24	0.00	-0.24
충청남도	태안군	-0.21	43.49	43.28
전라북도	전주시 완산구	-5.2	0.00	-5.20
전라북도	전주시 덕진구	-4.01	0.00	-4.01

부록
 세계평균 수준으로
 전기차가 보급될 경우,
 전국 시군구별
 PM_{2.5} 배출량 변화
 (2030년)

시도	시군구	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변화		
		도로이동오염원(A)	전력생산(B)	합계(A+B)
전라북도	군산시	-1.08	4.95	3.87
전라북도	익산시	-0.84	0.47	-0.37
전라북도	정읍시	-0.26	0.00	-0.26
전라북도	남원시	-0.17	0.00	-0.17
전라북도	김제시	-0.5	0.00	-0.50
전라북도	완주군	-0.31	0.00	-0.31
전라북도	진안군	-0.08	0.00	-0.08
전라북도	무주군	-0.1	0.00	-0.10
전라북도	장수군	-0.11	0.00	-0.11
전라북도	임실군	-0.15	0.00	-0.15
전라북도	순창군	-0.1	0.00	-0.10
전라북도	고창군	-0.16	0.00	-0.16
전라북도	부안군	-0.19	0.00	-0.19
전라남도	목포시	-6.28	0.00	-6.28
전라남도	여수시	-0.8	13.15	12.35
전라남도	순천시	-0.42	0.92	0.50
전라남도	나주시	-0.25	0.00	-0.25
전라남도	광양시	-0.53	0.00	-0.53
전라남도	담양군	-0.3	0.00	-0.30
전라남도	곡성군	-0.17	0.00	-0.17
전라남도	구례군	-0.1	0.00	-0.10
전라남도	고흥군	-0.09	0.00	-0.09
전라남도	보성군	-0.13	0.00	-0.13
전라남도	화순군	-0.12	0.00	-0.12
전라남도	장흥군	-0.08	0.00	-0.08
전라남도	강진군	-0.12	0.00	-0.12
전라남도	해남군	-0.09	0.00	-0.09
전라남도	영암군	-0.21	0.00	-0.21
전라남도	무안군	-0.27	0.00	-0.27
전라남도	함평군	-0.21	0.00	-0.21
전라남도	영광군	-0.15	0.00	-0.15
전라남도	장성군	-0.29	0.00	-0.29
전라남도	완도군	-0.11	0.00	-0.11
전라남도	진도군	-0.08	0.00	-0.08
전라남도	신안군	-0.05	0.00	-0.05
경상북도	포항시 남구	-0.93	0.00	-0.93
경상북도	포항시 북구	-0.51	0.00	-0.51
경상북도	경주시	-0.33	0.00	-0.33
경상북도	김천시	-0.23	0.00	-0.23
경상북도	안동시	-0.15	0.00	-0.15
경상북도	구미시	-0.92	1.28	0.36
경상북도	영주시	-0.22	0.00	-0.22



시도	시군구	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변화		
		도로이동오염원(A)	전력생산(B)	합계(A+B)
경상북도	영천시	-0.3	0.00	-0.30
경상북도	상주시	-0.24	0.00	-0.24
경상북도	문경시	-0.15	0.00	-0.15
경상북도	경산시	-0.84	0.00	-0.84
경상북도	군위군	-0.11	0.00	-0.11
경상북도	의성군	-0.08	0.00	-0.08
경상북도	청송군	-0.06	0.00	-0.06
경상북도	영양군	-0.03	0.00	-0.03
경상북도	영덕군	-0.12	0.00	-0.12
경상북도	청도군	-0.12	0.00	-0.12
경상북도	고령군	-0.21	0.00	-0.21
경상북도	성주군	-0.17	0.00	-0.17
경상북도	칠곡군	-0.87	0.00	-0.87
경상북도	예천군	-0.12	0.00	-0.12
경상북도	봉화군	-0.06	0.00	-0.06
경상북도	울진군	-0.08	0.00	-0.08
경상북도	울릉군	-0.18	0.00	-0.18
경상남도	진주시	-0.54	0.14	-0.40
경상남도	통영시	-0.63	0.00	-0.63
경상남도	사천시	-0.4	0.00	-0.40
경상남도	김해시	-1.34	0.00	-1.34
경상남도	밀양시	-0.22	0.00	-0.22
경상남도	거제시	-0.79	0.00	-0.79
경상남도	양산시	-0.81	0.00	-0.81
경상남도	창원시 의창구	-1.57	0.00	-1.57
경상남도	창원시 성산구	-6.04	0.00	-6.04
경상남도	창원시 마산합포구	-1.02	0.00	-1.02
경상남도	창원시 마산회원구	-3.24	0.00	-3.24
경상남도	창원시 진해구	-1.84	0.00	-1.84
경상남도	의령군	-0.07	0.00	-0.07
경상남도	함안군	-0.68	0.00	-0.68
경상남도	창녕군	-0.32	0.00	-0.32
경상남도	고성군	-0.23	29.31	29.08
경상남도	남해군	-0.14	0.00	-0.14
경상남도	하동군	-0.13	18.74	18.61
경상남도	산청군	-0.14	0.00	-0.14
경상남도	함양군	-0.14	0.00	-0.14
경상남도	거창군	-0.08	0.00	-0.08
경상남도	합천군	-0.07	0.00	-0.07
제주도	제주시	-0.85	0.59	-0.26
제주도	서귀포시	-0.26	0.21	-0.05