제주지역 전력계통에 설치되는 에너지 저장장치의 용량별 CO_2 절감량 및 최적용량 산정

논 문
59-7-8

Calculating the Optimal Capacity of Energy Storage System to Reduce CO_2 Emission for Power System in Je-Ju)

이 종 현* · 설 소 영** · 고 원 석*** · 최 중 인§ · 배 시 화§ · 홍 준 희†
(Jong-Hyun Lee · So Yeong Seol · Won-suk Ko · Si-Hwa Bae · Jung-In Choi · Jun-Hee Hong)

Abstract - In this Paper, optimal capacity of energy storage and amount of CO_2 reduction in Jeju is calculated. Based on electricity demand data of Je-Ju from 2006 to 2007, the estimation electricity demand from 2009 to 2018 is performed. To calculate the amount of maximum CO_2 reduction and energy storage capacity in Jeju, the 4th power supply planning and IPCC guideline are used. Finally, Optimal capacity of energy storage and the amount of CO_2 reduction are showed.

Key Words : Energy Storage System, CO_2, Je-Ju, CO_2 reduction,

1. 서 론

1992년 Rio 환경개발회의에서 지구온난화에 대한 범지구적 대응을 위한 국제기후변화협약을 체결하였고, 1997년 선진국의 구속적 온실가스 감축을 위해 교토의정서(Kyoto Protocol)를 채택하였다. 교토의정서는 2008년부터 2012년 기간 중 자국내 CO_2 , PFCs, CH_4 , N_2 O, HFCs, SF_6 이상 6가지 온실가스 배출량을 1990년대 수준대비 평균 5.2% 감축하는 것을 목표로 2005년 2월 16일부터 발효 중이다 (Annex 1 기준)[1].

우리나라는 기후변화협약 당시 개발도상국으로 분류되어 현재 감축 의무대상국은 아니지만, 세계 10위권 안에 들만큼 많은 양의 온실가스가 배출되고 있어 향후 온실가스 감축 의무 대상국에 포함 될 가능성이 매우 높다. 우리나라 정부는 이러한 현실을 감안하여 2010년부터 배출권 거래 제도를 시범 실시할 계획이다.[2]

우리나라에 배출권 거래제도가 도입될 경우, 다른 어떠한 산업부문보다도 발전분야를 포함하는 전력부문에 미치는 영향이 가장 클 것으로 예상되는데, 그 이유는 배출되는 온실가스의 약 26%가 전력산업부문에서 배출되고 있어 단일 산업부문으로는 가장 많은 온실가스를 배출하고 있는데 반해, 필수 에너지인 전기의 사용량을 갑자기 줄이거나 온실가스 배출량의 대부분을 차지하고 있는 화석연료 기반의 발전소를 짧은 기간 내에 신재생 에너지나 원자력 발전소로 대체하는 것이 불가능하여 많은 양의 배출권을 구입해야 하는 입장이기 때문이다.[3] 제주도는 청정 관광 지역으로서 에너지·환경문제 대응, 신성장동력 육성, 저탄소 녹색생활 패턴 정착 등의 과제를 종합적으로 고려해 2013년까지 인프라 구축 및 테스트를 벌일 스마트 그린 실증단지(Smart Green City) 사업이 추진 중에 있다.

이러한 배경에서 제주도 전력계통에서 에너지 저장장치의 연계는 발전 용량 확보, 계통운영보조서비스, 송배전망 지원뿐 만 아니라 CO_2 발생량 감소로 인한 환경적 경제적 이득을 기대 할 수 있게 되었다.

본 논문에서는 제주지역의 실제 전력사용량 데이터를 기초로 하여 에너지저장 장치(Energy Storage System)를 전력계통에 설치하는 경우 저장장치의 용량에 따라 얻을 수 있는 CO_2 절감량 계산 및 최적용량을 산정하였다.

* 정 회 원 : 경원대학교 전기공학과 박사과정
** 준 회 원 : 경원대학교 전기공학과 석사과정
*** 정 회 원 : 경원대학교 가천에너지연구원 연구원
§ 정 회 원 : 경원대학교 전기공학과 교수
† 교신저자, 정회원 : 경원대학교 전기공학과 교수
E-mail : only4you@kyungwon.ac.kr
접수일자 : 2010년 1월 13일
최종완료 : 2010년 6월 25일

2. 본 론

전력거래소의 제주지역의 2006~2007년 실제 전력사용량 데이터를 기초로 하여 2009~2018년, 10년동안의 전력사용량을 예측하였다. 이 예측된 데이터를 기초로 하여 ESS를 전력계통에 설치하는 경우 저장장치의 용량에 따라 얻을 수 있는 CO_2 절감량을 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 가이드라인에 따른 발전기별 CO_2 배출량을 사용하여 계산하고 최적용량을 산정하였다.

2.1 제주지역의 전력사용 현황

제주지역의 '2006년부터 '2007년도 실제 전력사용량은 그림 1과 같으며, X축은 24시간, Y축은 일, Z축은 전력사용량(kW)를 나타낸다. 최대전력사용량은 2006년도 514.6(MW), 2007년도 551.9(MW)로 모두 8월초 30도 이상의 고온일 때 나타났다. 또한 제주도의 하루 중 최대전력사용을 나타내는 시간은 대부분 21시에 나타났다.[5][6]

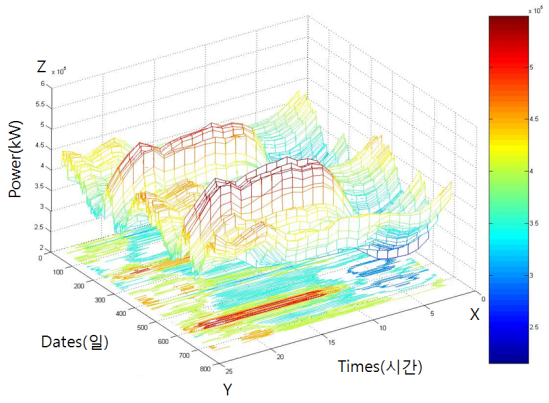

그림 1 제주지역 실제 전력사용량 데이터 ('06~'07년도)
Fig. 1 The actual power usage data in Je-Ju

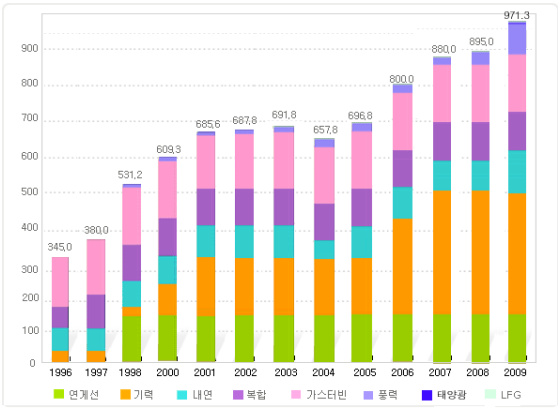

그림 2 제주지역 전원별 발전설비 용량
Fig. 2 The capacity of generated plant in Je-Ju

표 1 4차 전력수급계획에 따른 제주지역 발전설비 증감량
Table 1 The amount of generated power in Je-ju based on 4th power supply planning.

[단위 : MW]

연도	석유	신재생	HVDC	계
2009	670	37	150	857
2010	670	44	150	864
2011	615	44	400	1,059
2012	575	53	400	1,028
2013	575	53	400	1,028
2014	575	53	400	1,028
2015	575	53	400	1,028
2016	575	53	400	1,028
2017	575	53	400	1,028
2018	575	53	400	1,028
2019	575	53	400	1,028

제주지역의 전력은 화력발전소와 해저케이블을 통해 육지로부터 공급되고 있다. 그림 2의 제주지역 전원별 발전설비 용량에서 보이듯이 효율이 낮고 고가의 연료를 사용하는 기력발전이 2009년 현재까지도 가장 많은 비율을 차지하고 있다. 때문에 표 1에서와 같이 4차 전력 수급계획에 의하면 2009년 78.1%를 차지하고 있는 석유 전원의 구성비를 2019년 55.9% 까지 낮출 계획이다. 이에 반해 HVDC 2009년 18.5%에서 2019년 38.9%까지 늘릴 계획이다.[5][7]

2.2 ESS설치시 얻을 수 있는 CO_2 절감량

IPCC 탄소배출계수는 IPCC에서 정의한 발전연료구분에 따른 탄소배출량을 계수로 정리한 것으로서, 표 2와 같으며 이를 이용하여 각 발전기별 CO_2 배출량은 아래와 같은 식을 통하여 얻을 수 있다.[8]

고정 연소로부터 발생하는 온실가스 배출량

$$\text{배출량}_{GHG,\text{연료}} = \text{연료소비}_{\text{연료}} \cdot \text{배출계수}_{GHG,\text{연료}} \quad (1)$$

$\text{배출량}_{GHG,\text{연료}}$: 연료의 유형에 의해 주어진 GHG의 배출량 (kg GHG)
$\text{연료소비}_{\text{연료}}$: 연소된 연료의 양 (Tj)
$\text{배출계수}_{GHG,\text{연료}}$: 연료의 유형에 의한 주어진 GHG 배출계수 (kg gas/Tj). CO_2 에 대해, 이는 1로 가정된 탄소산화계수(carbon oxidation factor)를 포함한다.

온실가스에 의한 총배출량

$$\text{배출량}_{GHG} = \sum_{\text{연료들}} \text{배출량}_{GHG,\text{연료}} \quad (2)$$

표 2 IPCC 탄소배출계수(CARBON EMISSION FACTOR : CEF)
Table 2 IPCC CARBON EMISSION FACTOR

연료구분			탄소배출계수 kg C/GJ	탄소배출계수 Ton C/TOE
액체 화석 연료	1차 연료	원유	20.00	0.829
		천연액화가스(NGL)	17.20	0.630
	2차 연료	휘발유	18.90	0.783
		항공가솔린	18.90	0.783
		등유	19.60	0.812
		항공유	19.50	0.808
		경유	20.20	0.837
		주유	21.10	0.875
		LPG	17.20	0.713
		납사	20.20	0.829
		아스팔트	22.00	0.92
		윤활유	20.20	0.829
		Petroleum Coke	27.50	1.140
		Refinery Feedstock	20.20	0.829

식(1),(2)를 이용하여 제주지역 발전기별 탄소배출량을 표 3과 같이 구할 수 있다.

표 3 IPCC 가이드라인에 따른 제주 발전기별 CO_2 배출량
Table 3 CO_2 emission of each plant in je-ju based on IPCC guideline

발전소명	발전기별 연료소비량 (ℓ/kWh)	탄소배출량 (tCO_2 /MWh)
연계선		0.4448
제주내연	B-C유 0.197	0.5959
남제주내연	B-C유 0.2	0.5999
제주G/T	B-C유 0.197	0.5959
남제주기력	B-C유 0.23	0.6899
제주기력	B-C유 0.233	0.7014
한림복합	보일러 등유 0.28	0.6960

2.2.1 전력사용량과 에너지 저장장치 설치용량에 따른 CO_2 절감량

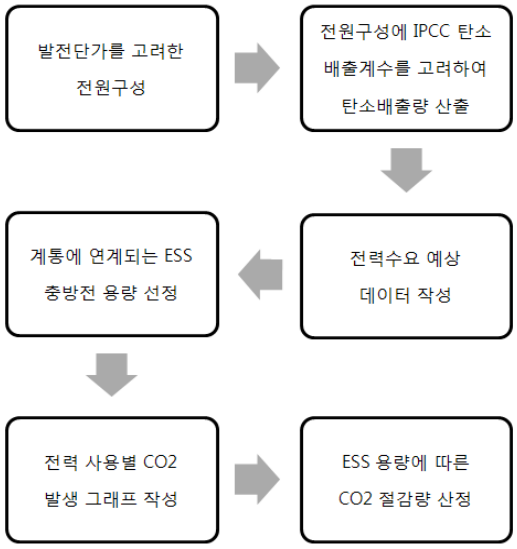

그림 3 ESS 용량에 따른 CO_2 절감량 산출
Fig. 3 Calculating CO_2 reduction based on capacity of Energy Storage System

ESS를 설치하여 얻을 수 있는 CO_2 절감량은, 그림 4와 같이 경부하시와 첨두부하시 발생되는 CO_2 의 차이를 이용하여 얻을 수 있다. 즉 CO_2 배출량이 적은 경부하시 ESS를 충전하였다가, CO_2 배출량이 큰 첨두부하시(Peak Cutting) ESS를 방전하여 절감할 수 있는 CO_2 의 양을 계산한다. 그림 3은 이를 도식적으로 나타낸 것으로서,

① 제주지역의 발전 단가를 고려한 전원을 구성
② 표 3과 같이 발전기별 탄소배출량을 산출
③ 그림 1의 데이터를 기초로 전력수요 예상 데이터 작성
④ 계통에 연계되는 ESS의 용량 설정
⑤ 그림 5와 같이 전력 사용별 CO_2 발생그래프 작성
⑥ ESS 용량에 따른 CO_2 절감량 산정

과 같은 과정을 거치게 된다.

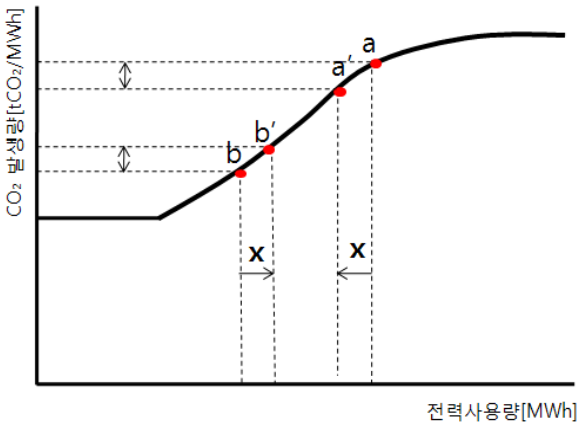

그림 4 ESS 용량에 따른 CO_2 절감량
Fig. 4 Accumulated CO_2 reduction from energy storage system capacity

CO_2 절감량은 전력사용별 CO_2 발생그래프에서 다음 식을 통해 얻을 수 있다.

$$CO_2\text{절감량} = (a - a') - (b' - b) \quad (3)$$

a : 전력사용량 최대시 CO_2 발생량
a′ : ESS 방전용량만큼 감소된 전력사용량시 CO_2 발생량 (최대전력사용량 - ESS 방전용량)시 CO_2 발생량
b : 전력사용량 최소시 CO_2 발생량
b′ : ESS 충전용량만큼 증가된 전력사용량시 O_2 발생량 (최소전력사용량 +ESS 충전용량)시 CO_2 발생량

식(3)에서 a-a′는 ESS를 사용하지 않았을 때 전력 사용량에 따른 CO_2 발생량을 나타내며 b'-b는 ESS를 사용하였을 때 전력사용량에 따른 CO_2 발생량을 나타낸다. 이 때 a′, b′는 ESS 설치용량에 의해 결정된다. 그러므로 식(3)과 같이 계산하여 ESS 용량에 따른 CO_2 절감량을 나타 낼 수 있다.

2.2.2 ESS 용량에 따른 CO_2 절감량 계산

제주지역은 연계선, 제주내연, 남제주내연, 제주G/T, 남제주기력, 제주기력, 한림복합 순으로 단가가 높아진다. 이를 근거로 그림 5와 같은 전력사용량별 CO_2 발생량그래프를 나타내었다.

4차 전력수급계획에 따르면 제주권 전력소비량은 2009~2018년 연평균 1.9% 증가로 전망하고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 그림 1의 데이터를 근거로 2009년 1월 1일 제주 지역의 최대 전력사용량은 0시 482MW 최저전력사용량은 04시에 404MW 로 예상하였다. 그림 5에 따른 2009년 1월 1일 482MW 전력을 사용하는 발생하는 CO_2 발생량은 269,136kg, 404MW 전력을 사용하는데 발생하는 CO_2 발생량은 218,238kg 이다. 이때 1시간의 충방전을 하는 1MW급 ESS를 연계하여 04에 충전, 0시에 방전을 하면 최대전력사용량은 481MWh로 줄어들어 268,446kg의 CO_2 를 최저전력

사용량은 405MWh로 늘어나 218,834kg의 CO_2 를 발생하여 총 94kg CO_2 를 감축할 수있다.

2.3 결과

그림 5는 제주지역 2009년부터 2019년까지의 전력사용량에 따른 CO_2 발생량을 나타낸 그래프 이다. 2011년부터 그래프가 변화하는 것은 4차수급계획에 따라 육지에서의 추가 연계선(250MW)이 설치되어 제주도에서 생산되어지는 발전량이 줄어들기 때문에 상대적으로 효율이 나쁜 발전기들이 가동되지 않아 CO_2 의 발생량이 감소하여 '09~'10년의 그래프와 다른 모양을 나타내게 된다.

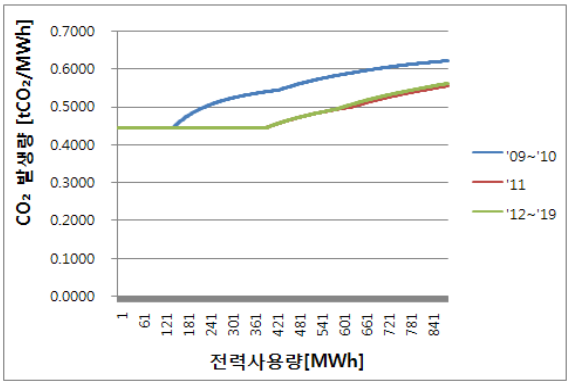

그림 5 전력사용량에 따른 CO_2 발생량(년도별 '09~'19)

Fig. 5 Accumulated CO_2 emission from electric usage

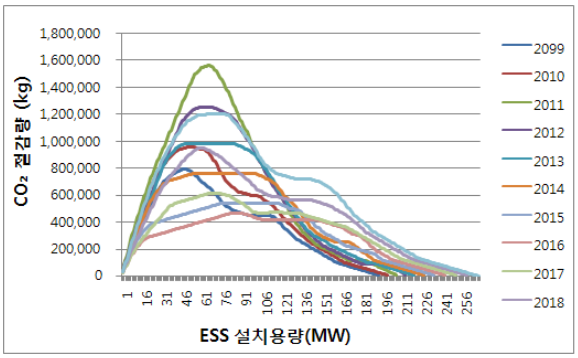

그림 6 ESS 용량대비 실제 얻을 수 있는 CO_2 절감량(년도별 '09~'19)

Fig. 6 Accumulated CO_2 reduction from energy storage system capacity(09~19)

그림 6은 2009년부터 2019년 까지 ESS 용량대비 실제 얻을 수 있는 CO_2 절감량을 나타낸 그래프로서 2011년 ESS 65MW 설치시 CO_2 절감량 1,561,454kg 으로 가장 절감량이 클 것으로 예측된다. 이는 2011년 제주지역의 전원구성이 석유가 77.5%에서 58.1%로 감소하고 HVDC가 17.4%에서 37.8% 증가하는 것에서 비롯된 결과로 사료된다.

그림 7은 2009년부터 2019년까지 10년동안 ESS용량대비 얻을 수 있는 CO_2 절감량의 총 합을 나타낸 것으로 최대 절감량을 얻을 수 있는 ESS용량은 61MW, 최대 절감량은 9,815,236kg으로 예측 된다.

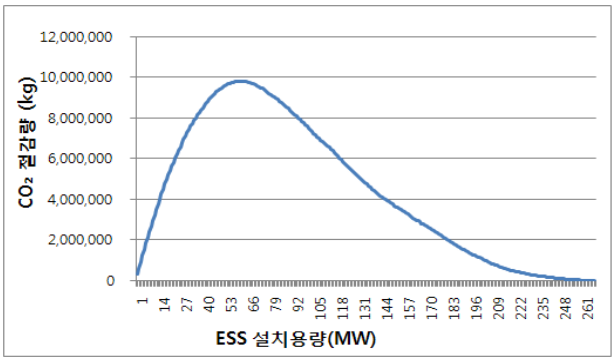

그림 7 ESS 용량대비 실제 얻을 수 있는 CO_2 절감량(총합 '09~'19)

Fig. 7 Accumulated CO_2 reduction from energy storage system capacity(sum 09~19)

3. 결 론

청정 관광 지역인 제주도의 전력계통에서 에너지 저장장치의 연계는 발전 용량 확보, 계통운영보조서비스, 송배전망 지원 뿐 만 아니라 CO_2 발생량 감소로 인한 환경적 이득을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 에너지저장장치가 제주도 전력계통에 연계시 얻을 수 있는 CO_2 절감량을 계산하였으며 이를 통해 '09~'19년 까지 최대 절감량을 얻을 수 있는 에너지저장장치 용량을 산출 하였다. 계산 결과 최대 절감량을 얻을수 있는 ESS용량은 61MW, 최대 절감량은 9,815,236kg으로 예측된다.

앞으로 배출권 거래제도가 도입되면 전력시장에서는 이에 따른 이득 또한 고려하게 될 것이다. 이에 활발히 진행중인 에너지저장장치에 대한 연구로 보다 높은 신뢰성과 경제성을 갖은 에너지저장장치 개발시 전력계통 연계에 따른 신뢰도 확보 뿐만 아니라 환경적 이득에 따른 경제성 또한 고려할 수 있다. 본 논문의 결과는 이러한 분석을 위하여 유용하게 사용 될 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 경원대학교와 지식경제부 전력산업연구개발산업 중대형 전략과제(R-2005-1-369-001)의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] 에너지관리공단, "에너지 • 기후변화 편람", 2009
[2] 산업자원부 "기후변화협약정보(한국어판)", 2000, 10
[3] 국무총리실 기후 변화기획단, 기후변화대응 종합기본계획 상세자료, 2008, 9
[4] 김상훈, 이광호, 김욱, "온실가스 배출권 거래제도 를 고려한 경쟁적 전력시장 모형 연구" 전기학회논문지, Vol. 58, No. 8, AUG. 2009
[5] 제주지도 전력거래소 홈페이지, www.kpxj.or.kr
[6] 2007년 12월 기준 전력통계, www.kepco.co.kr

[7] 지식경제부. “4차전력수급기본계획“ . 2008. 12
[8] IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the national Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S, Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Published : IGES, Japan

저 자 소 개

이 종 현 (李 種 賢)

1979년 7월 2일생. 2006년 경원대학교 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

설 소 영 (薛 昭 暎)

1986년 11월 4일생. 2009년 경원대학교 전기공학과 졸업. 2009년~현재 동대학원 전기공학과 석사과정.

고 원 석 (高 湲 錫)

1971년 08월20일생. 2007년 Univ.of Central Florida 졸업(박사), 2008년 ~ 현재 경원대학교 가천에너지연구원 선임연구원.

최 중 인 (崔 重 仁)

1956년 10월 7일생, 1979년 서울대학교 공과대학 원자핵공학과 졸업. 1987년 미국 MIT 졸업. 1993년~ 현재 경원대학교 전기공학과 정교수

배 시 화 (裵 是 花)

1952년 4월 6일생. 1992년 서울대학교 대학원 건축계획학과 졸업(공박). 1992년~현재 경원대학교 건축공학과 정교수

홍 준 희 (洪 俊 憙)

1963년 3월 1일생. 1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1995년~현재 경원대학교 전기공학과 정교수.