



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

공 학 석 사 학 위 논 문

강원도 폐광산 지역의 풍력발전
잠재성 평가



2014 년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

에 너 지 자 원 공 학 과

장 미 향

공 학 석 사 학 위 논 문

강원도 폐광산 지역의 풍력발전
잠재성 평가



지도교수 최 요 순

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2014 년 8 월

부 경 대 학 교 대 학 원

에 너 지 자 원 공 학 과

장 미 향

장미향의 공학석사 학위논문을 인준함

2014 년 8 월



주	심	공학박사	엄 정 기
위	원	공학박사	최 요 순
위	원	공학박사	왕 수 균



목 차

List of Figures	ii
List of Tables	iii
Abstract	iv
1. 서 론	1
2. 풍력발전 시스템의 개요	4
2.1 풍력발전 시스템의 원리	4
2.2 풍력발전 시스템의 분류	4
2.3 풍속-출력 곡선	8
3. 연구방법 및 자료	10
3.1 에너지 분석	10
3.1.1 풍속분포(wind speed distribution) 계산	12
3.1.2 조정되지 않은 연간 전력 생산량 계산	13
3.1.3 총 에너지 생산량 계산	14
3.1.4 전력망으로 공급된 에너지 총량 계산	15
3.2 배기 분석	18
3.3 재무 분석	19
3.4 풍력자원지도 및 폐광산 위치도	22
4. 연구결과	26
5. 결 론	39
6. 참고문헌	41
7. 요약	45
부 록	46
감사의 글	93

List of Figures

Fig. 1 Typical types of wind turbines	6
Fig. 2 Schematic diagram of wind turbines	7
Fig. 3 An wind speed–power curve data representing the total amount of energy produced from a wind turbine over a range of annual average wind speed	9
Fig. 4 Flowchart for energy analysis of wind power systems using RETScreen	11
Fig. 5 Maps of Wind speed and abandoned mines in the Kangwon province	23
Fig. 6 Maps of Temperature and abandoned mines in the Kangwon province	24
Fig. 7 Maps of Atmospheric pressure and abandoned mines in the Kangwon province	25
Fig. 8 Comparison of annual gross energy production (MWh) at 5 representative abandoned mines with 50m altitude wind speed in the Kangwon province	31
Fig. 9 abandoned mines with 50m altitude wind speed faster than 6.5m/s in the Kangwon province	32
Fig. 10 Annual income and equity payback at top 10 mine sites with high wind power potential in the Kangwon province	37
Fig. 11 Sensitivity analysis of financial parameters for wind power systems	38

List of Tables

Table 1 Parameters for the energy analysis of wind power systems	17
Table 2 Parameters for the financial analysis of wind power systems	21
Table 3 Parameter values related to wind resources at 5 representative abandoned mines	27
Table 4 Assessment of wind power potential at 5 representative abandoned mines	28
Table 5 Assessment of wind power potential at 47 abandoned mines with 50m altitude wind speed faster than 6.5 m/s	33



Assessment of Wind Power Potential at Abandoned Mines in Kangwon Province, Korea

Mi Hyang Jang

Department of Energy Resources Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

This study performed an assessment of wind power potential at abandoned mines in the Kangwon province by analyzing gross energy production, greenhouse gas emission reduction and economic effects estimated from a 600 kW wind turbine. Wind resources maps collected from the renewable energy data center in Korea Institute of Energy Research(KIER) were used to determine the average wind speed, temperature and atmospheric pressure at hub height(50 m) for each abandoned mine. RETScreen software developed by Natural Resources Canada(NRC) was utilized for the energy, emission and financial analyses of wind power systems. Based on the results from 5 representative mining sites, we could know that the average wind speed at hub height is the most critical factor for assessing the wind power potential. Finally, 47 abandoned mines that have the average wind speed faster than 6.5 m/s were analyzed, and top 10 mines were suggested as relatively favorable sites with high wind power potential in the Kangwon province. It should be noted that the results can be considered as an alternative for promotion policy of abandoned mining areas, however they are not really relevant to mine hazard protection.

1. 서 론

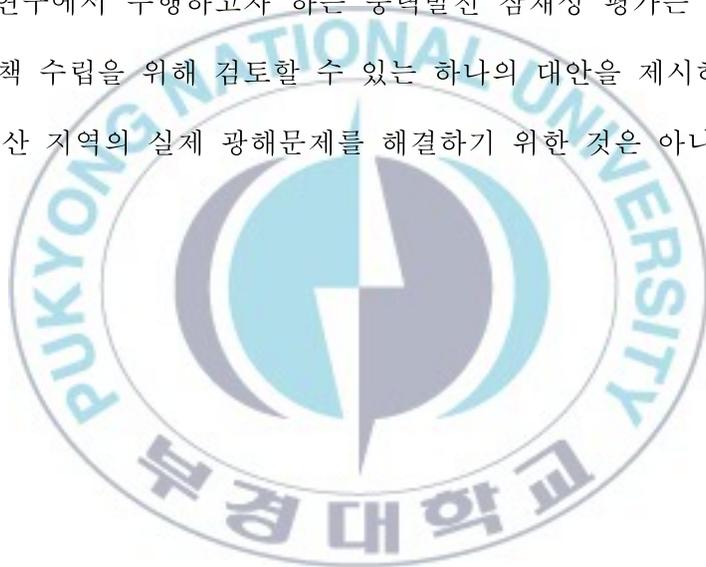
현재 국내의 5,396개소의 광산 중 가행광산은 593개소, 휴·폐광산은 4,803개소로 약 89%가 휴광 또는 폐광된 상황이다(MIRECO, 2012). 국내의 많은 폐광산 지역들은 지반침하, 수질오염, 토양오염 등 다양한 광해의 위험에 노출되어 있으며, 더 이상 생산 활동을 수행할 수 없는 쓸모없는 땅으로 방치되어 있어 지역경제가 위축되고 지역공동화 현상이 심화되는 등 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 따라서 국토의 균형발전이라는 국가적인 목표를 달성하기 위해서는 쓸모없는 땅으로 방치되어 있는 폐광산 지역의 부지를 다시 활용할 수 있도록 폐광산 지역 진흥사업을 추진할 필요가 있다. 강원도에는 800개소 이상의 많은 폐광산이 분포하며 국내 다른 지역에 비해 풍부한 풍력자원을 가지고 있기 때문에, 폐광산 지역에 풍력 발전소를 설치하는 것은 버려진 부지를 활용하여 대체산업을 육성할 수 있는 하나의 방안이 될 수 있다. 본 연구에서는 강원도 폐광산 지역의 풍력발전 잠재성(풍력 발전소를 설치할 경우 기대할 수 있는 효과)에 관하여 평가하고자 한다.

해외에서는 풍력발전 잠재성 평가와 관련하여 다양한 연구 결과들이 발표되고 있다. Tuğrul Oğulata(2003)는 터키의 에너지수급현황과 풍력발전 잠재성에 대한 분석을 수행하였으며, Rehman과 Ahmad(2004)는 사우디아라비아의 14년간의 평균 풍속 및 풍향을 고려하여 국토 전체에 대한 풍력발전 잠재성을 평가하였다. Li와 Li(2005)은 최대엔트로피이론에 기초하여

캐나다 Waterloo지역의 년, 계절, 달, 일별 풍속편차 분석 및 풍력발전 잠재성 평가를 수행하였다. 그 외에도 영국의 전력시장을 고려한 풍력발전의 경제적 효과 분석(Barthelmie *et al.*, 2008), 이란의 수도 테헤란 지역의 7년간의 평균풍속자료를 이용한 풍력발전 잠재성 평가(Keyhani *et al.*, 2010), HOMER 프로그램을 이용한 에티오피아 4개 지역의 풍력발전 잠재성 비교(Bekele and Palm, 2009), 중국의 기술적, 공간적, 경제적 조건을 고려한 풍력발전 잠재성 평가(Hong and Moller, 2011), 미국 멕시코 경제 지역의 풍력발전소 도입으로 인한 일자리 창출 및 온실가스 저감 효과분석(Duncan *et al.*, 2012) 등의 연구들이 수행되었다.

국내에서도 원격탐사자료를 이용한 해상풍력 잠재성 평가(Kim *et al.*, 2005), 대관령 풍력발전 단지의 경제성을 분석(Ha and Kim, 2005), 기상관측자료의 영향반경특성을 고려한 국지규모의 풍력발전 잠재성 평가(Lee *et al.*, 2007) 등의 연구 결과가 발표되었다. 또한, Kim(2008)은 국내의 풍력발전 잠재량을 이론적, 지리적, 기술적 측면에서 구분하여 분석하였으며, Moon 등(2008)은 국내 지형특성을 고려하여 풍력발전 잠재성 평가를 수행하였다. 그 외에도 한반도 풍력자원의 시공간적 분포를 고려한 풍력발전 잠재성 평가(Kim and Byun, 2008), 제주도 연안지역의 풍력에너지 밀도 및 풍력발전 잠재성 평가(Kim and Jin, 2010), 국내개발조건을 반영한 해상 풍력단지의 경제성 분석(Kang *et al.*, 2011)등의 연구가 수행되었다. 그러나 국내에 다수 분포하고 있는 폐광산 지역을 대상으로 하는 풍력발전 잠재성 평가는 현재까지 시도되지 않았다.

본 연구의 목적은 강원도의 폐광산 지역을 대상으로 계통연계형(on grid) 600 kW급 풍력 터빈을 설치할 경우 기대할 수 있는 전력 생산량, 온실가스 감축량, 경제적 효과를 분석하여 풍력발전 잠재성을 평가하는 것이다. 풍력자원 조건이 상이한 5개 대표 폐광산 지역에 대한 분석을 통해 풍력발전 잠재성에 가장 큰 영향을 미치는 요인을 확인하고, 강원도 내에서 상대적으로 풍력발전의 잠재성이 높은 폐광산 지역들을 선정하여 제시하고자 한다. 본 연구에서 수행하고자 하는 풍력발전 잠재성 평가는 폐광산 지역의 진흥정책 수립을 위해 검토할 수 있는 하나의 대안을 제시하기 위한 것이며, 폐광산 지역의 실제 광해문제를 해결하기 위한 것은 아니다.



2. 풍력발전 시스템의 개요

2.1 풍력발전 시스템의 원리

풍력발전 시스템이란 태양에 의해 지구표면이 불균등하게 가열되어 발생하는 공기유동, 즉 바람이 가진 운동에너지를 풍력터빈을 이용하여 기계적 에너지로 변환한 후 이를 다시 전기에너지로 변환하여 전력계통이나 수요자에게 전력을 공급할 수 있는 장치이다. 풍력발전 시스템은 방사성폐기물과 같은 환경오염물질이나 온실가스를 배출하지 않고 전력을 생산할 수 있으며, 고유가 시대에 그 필요성이 더욱 부각되고 있다(KEMCO, 2010). 풍력발전 시스템은 전 세계적인 시장 경쟁과 지속적인 연구개발로 성숙한 기술 단계에 도달하였으며, 풍력터빈의 가격 경쟁력 및 신뢰성에 관한 문제들도 점차 해결되고 있다(NRCAN, 2005).

2.2 풍력발전 시스템의 분류

풍력발전 시스템은 기존의 전력망과의 연결여부에 따라 계통연계형 시스템과 독립형(off grid) 시스템으로 구분된다. 전력망과 연결된 계통연계형 시스템은 다시 중앙 집중형 시스템과 지역 분산형 시스템으로 나뉜다. 중앙 집중형 시스템은 특정 소비자에 대해 고려하지 않고 전력을 생산해 중앙으로 집중시키는 대규모 시스템이며, 지역 분산형 시스템은 특정 소비자들이 거주하는 수요지 인근에 설치하여 필요한 전력을 공급할 수 있도록 하는

소규모 시스템이다. 독립형 시스템은 기존의 전력망과 독립적으로 운영되며 풍력발전을 통해 생산된 전기 에너지를 저장하기 위한 축전 시스템을 포함한다.

풍력터빈은 수십에서 수백 W의 전력을 생산하는 소규모 터빈으로부터 수 MW의 전력을 생산할 수 있는 대규모 터빈까지 그 크기가 다양하다. 풍력터빈은 일반적으로 수평축(축류형, axial flow)과 수직축(횡류형, cross flow)의 기본 외형을 가진다(Fig. 1). 수직축 풍력터빈은 수평축 풍력터빈과 달리 바람의 방향이 바뀌더라도 전력을 지속적으로 생산할 수 있는 장점이 있다. 그러나 가격이 비싸기 때문에 현재에는 수평축 풍력터빈이 보다 보편적으로 사용되고 있다. 풍력터빈은 운동량변환장치(momentum transfer devices), 동력전달장치(power transmission devices), 동력변환장치(power conversion devices), 제어장치(control devices) 등으로 구성되며 각 장치들이 유기적으로 연동하여 전력을 생산한다(Fig. 2).

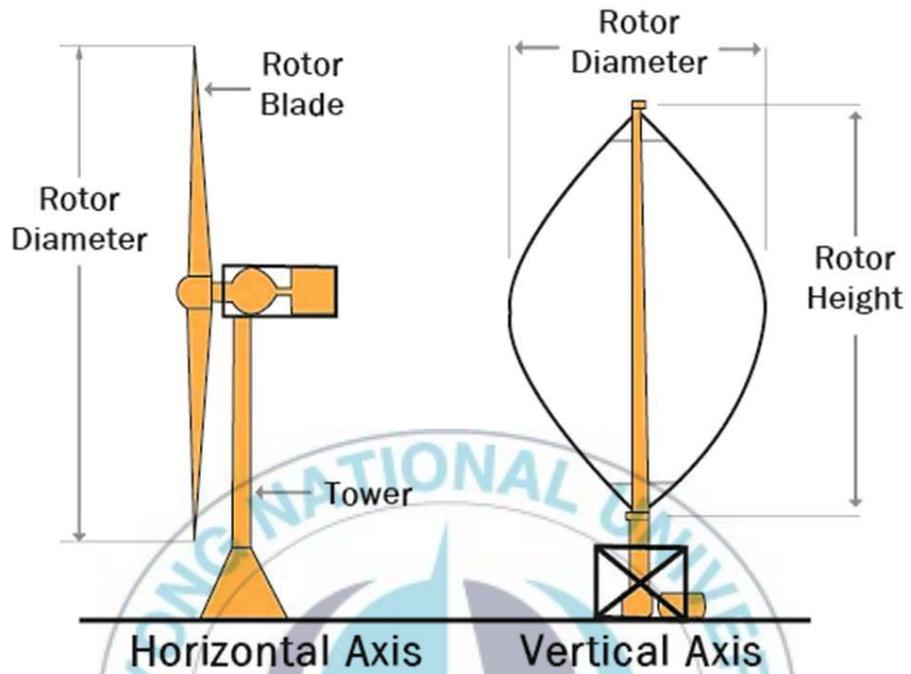


Fig. 1 Typical types of wind turbines (modified from <http://www.windturbineworks.com/basicsconfigurations.html>).

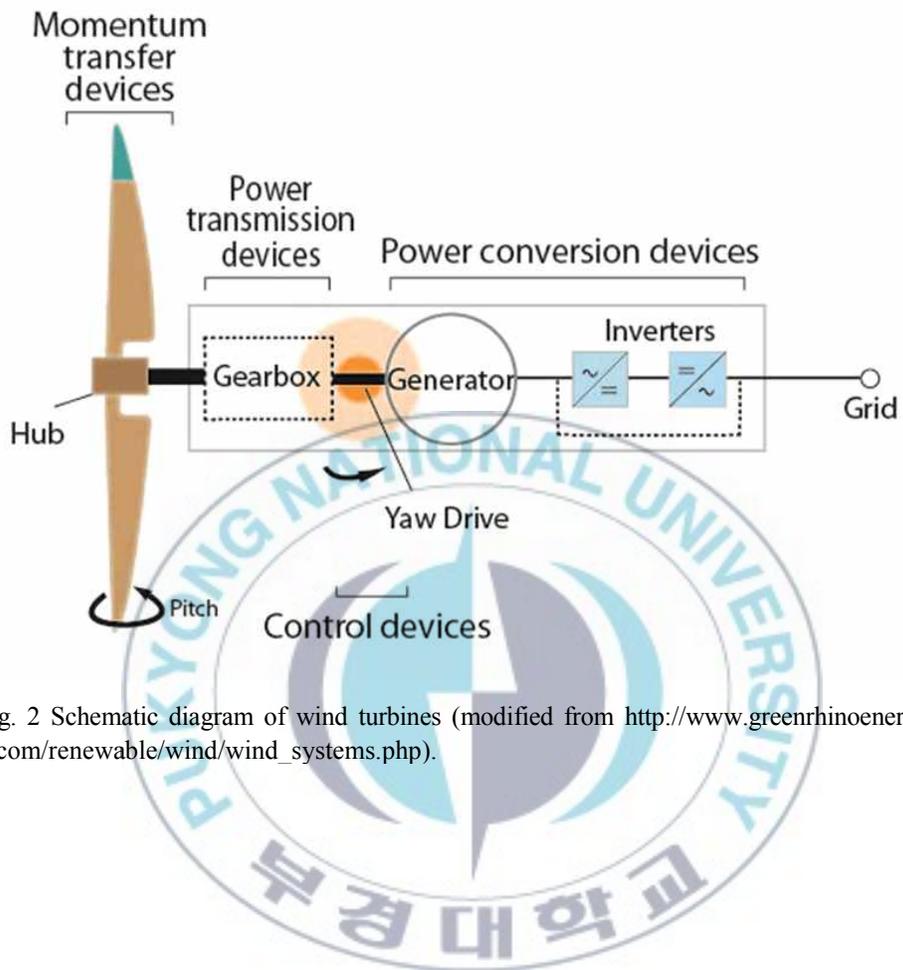
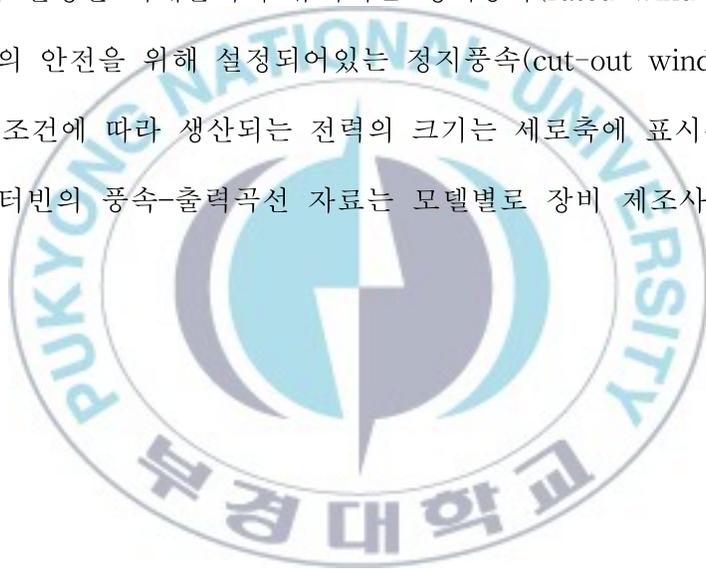


Fig. 2 Schematic diagram of wind turbines (modified from http://www.greenrhinoenergy.com/renewable/wind/wind_systems.php).

2.3 풍속-출력 곡선

풍력터빈은 제품 모델의 종류에 따라 고유한 풍속-출력곡선을 가진다. 풍속-출력곡선은 풍속 조건에 따른 풍력터빈의 작동범위와 생산되는 전력의 크기를 나타낸다(Fig. 3). 풍력터빈이 작동할 수 있는 풍속조건은 범위는 전력을 생산해낼 수 있는 최소한의 풍속인 시동풍속(cut-in wind speed)부터 일정한 최대출력이 유지되는 정격풍속(rated wind speed)을 지나 시스템의 안전을 위해 설정되어있는 정지풍속(cut-out wind speed)까지이다. 풍속조건에 따라 생산되는 전력의 크기는 세로축에 표시된다. 일반적으로 풍력터빈의 풍속-출력곡선 자료는 모델별로 장비 제조사에서 제공한다.



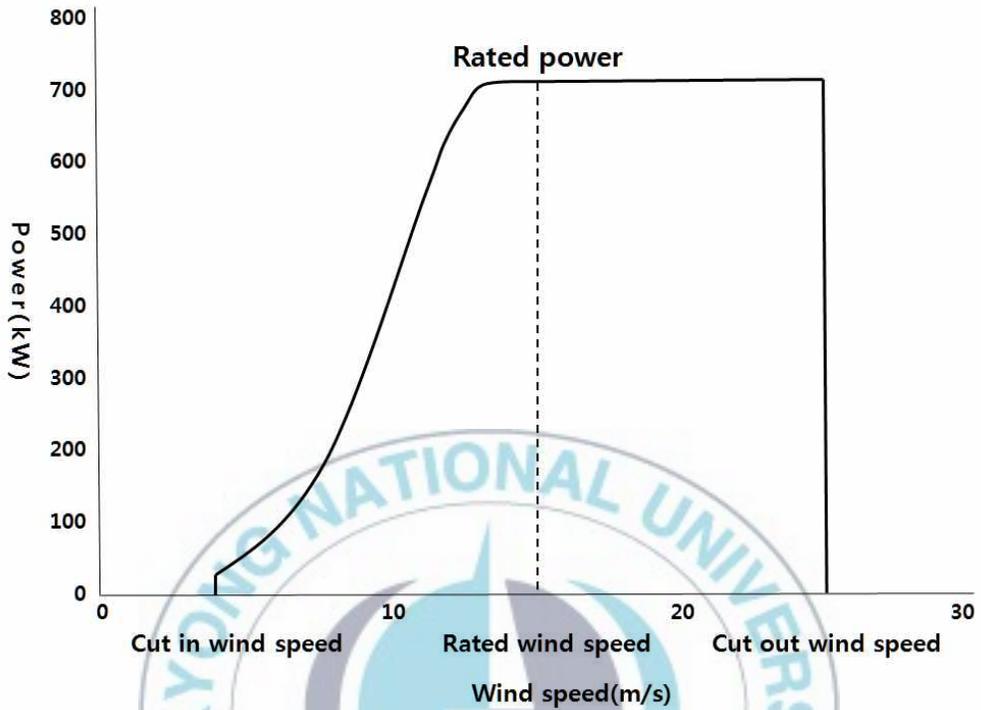


Fig. 3 An wind speed–power curve data representing the total amount of energy produced from a wind turbine over a range of annual average wind speed (modified from Boyle(2004)).

3. 연구방법 및 자료

강원도 폐광산 지역의 풍력발전 잠재성 평가를 위해 캐나다 천연자원부에서 개발한 RETScreen 소프트웨어(<https://www.retscreen.net>)를 이용하여 풍력발전 시스템의 에너지, 배기, 재무분석을 수행하였다. RETScreen은 단순한 분석모델을 사용하기 때문에 다양한 변수를 고려하여 상세한 분석을 수행하기 어려운 한계가 있으나, 자료의 입력방법이 쉽고 분석이 간편하기 때문에 풍력발전소의 예비 타당성 조사에 유용하게 활용될 수 있다 (Ha and Kim, 2005). 본 연구에서는 폐광산 지역의 풍력발전 잠재성 평가를 광역적인 지역을 대상으로 하는 예비 타당성 조사의 수준에서 수행하고자 하므로 RETScreen을 사용하였다. 폐광산 지역의 평균 풍속, 기온, 기압 값을 결정하기 위해서는 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터 (<https://www.kredc.net>)에서 제작한 풍력자원 지도를 활용하였다.

3.1 에너지 분석

에너지 분석의 목적은 풍력발전 시스템으로부터 생산되는 총 전력량과 계통선 송출 전력량을 산정하는 것이다. RETScreen은 Fig. 4와 같이 4단계의 절차에 따라 에너지 분석을 수행한다. 각각의 단계에서 사용되는 분석모델의 로직은 Ha와 Kim(2005)이 RETScreen의 매뉴얼(NRCAN, 2005)을 분석하여 정리한 수식을 참고하였다.

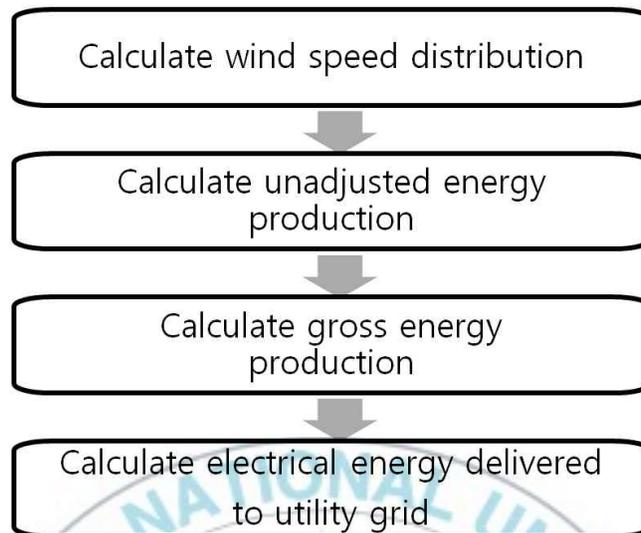
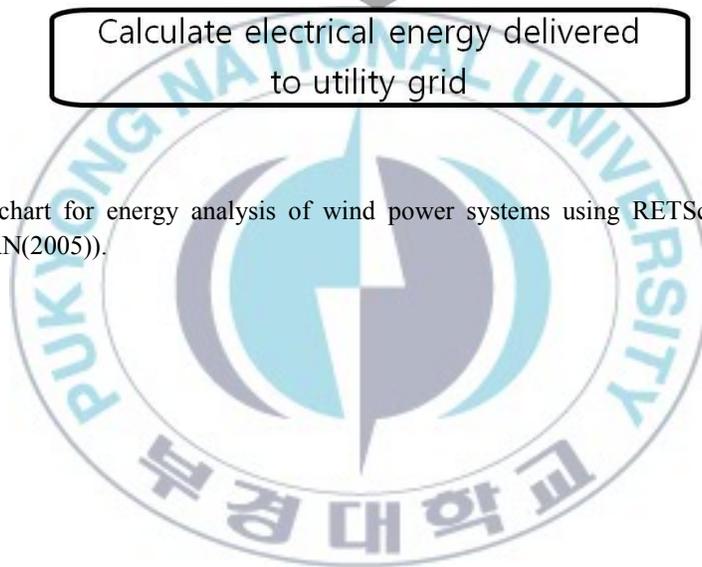


Fig. 4 Flowchart for energy analysis of wind power systems using RETScreen (modified from NRCAN(2005)).



3.1.1 풍속분포(wind speed distribution) 계산

에너지 분석을 위해서는 풍력발전 시스템이 설치될 지역의 풍속분포에 관한 정보가 필요하다. RETScreen은 풍속분포를 나타내는 여러 수학적 모델 중 Heister와 Pennell(1981)가 제안한 Weibull 확률밀도함수(Eq. 1)를 사용하여 계산을 수행한다. Weibull 확률밀도함수는 풍속 빈도분포의 비대칭성(skewness)을 잘 나타낼 수 있는 장점이 있다(Celik, 2003).

$$p(x) = \left(\frac{k}{C}\right) \left(\frac{x}{C}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{C}\right)^k\right] \quad (1)$$

여기서 $p(x)$ 는 풍속 x (m/s)가 발생할 확률, k 는 풍속분포의 편차를 나타내는 형인자(shape factor), C 는 등급계수(scale factor)를 의미한다. 형인자는 1에서 3까지의 값을 가지며 값이 작을수록 풍속분포의 편차가 크다. 등급계수는 Eq. 2를 사용하여 결정할 수 있다(Heister and Pennell, 1981).

$$C = \frac{\bar{v}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (2)$$

여기서 \bar{v} 는 평균 풍속(m/s), Γ 은 gamma function을 나타낸다.

Eq. 2에서 평균 풍속은 풍력터빈이 설치될 고도에서의 값이 입력되어야 한

다. 만약, 풍속계가 설치된 고도와 풍력터빈이 설치될 고도가 일치하지 않을 경우에는 Eq. 3를 이용하여 풍속계에서 측정된 평균 풍속(\bar{v}_0) 값(m/s)을 풍력터빈이 설치될 고도에서의 풍속(\bar{v}) 값(m/s)으로 보정할 수 있다(Gipe, 1995).

$$\frac{\bar{v}}{\bar{v}_0} = \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha \quad (3)$$

여기서 H 는 풍력터빈이 설치될 지점의 고도(ML), H_0 는 풍속계가 설치된 지점의 고도(ML), α 는 풍속분포지수(wind shear exponent)를 의미한다.

3.1.2 조정되지 않은 연간 전력 생산량 계산

두 번째 단계에서는 풍력발전소 후보 지역의 풍속분포 계산결과와 설치될 풍력터빈의 풍속-출력곡선 자료를 이용하여 풍력발전 시스템으로부터 기대할 수 있는 시간당 평균 전력 생산량을 계산한다(Eq. 4). 이때 풍력터빈이 설치될 지역의 온도와 압력 조건은 고려하지 않는다.

$$\bar{E}_h = \sum_{x=0}^{25} P_x \times 1 \times p(x) \quad (4)$$

여기서 \overline{E}_h 는 시간당 평균 전력 생산량(kWh), P_x 는 풍속 x 일 때 풍력터빈의 출력(kW, 풍속-출력곡선 자료로부터 결정), 1은 한 시간(h), $p(x)$ 는 풍속 x 가 발생할 확률을 나타낸다. 풍속 x 는 0 m/s부터 25 m/s(정지풍속)까지 1 m/s 간격의 정수형 값으로 고려된다. 0에서 25까지 각각의 정수형 풍속 조건에서 한 시간 동안의 전력 생산량(kWh)과 풍속 발생 확률(0-1)을 곱한 값들을 모두 합산하여 시간당 평균 전력 생산량(\overline{E}_h , kWh)을 산정한다. RETScreen에서 사용되는 Eq. 4과 같은 계산 방식은 정수 단위로 풍속을 고려해 합산하는 단순한 계산 방식이며, 다양한 수치 통합(numerical integration) 방법이 고려되지 않는 한계를 지니고 있다.

시간당 평균 전력 생산량이 결정되면 Eq. 5를 이용하여 조정되지 않은 연간 전력 생산량(E_U , kWh)을 계산할 수 있다.

$$E_U = \overline{E}_h \times 24 \times 356 \quad (5)$$

여기서 24는 하루 동안의 시간(h), 356은 연간 일 수를 나타낸다.

3.1.3 총 에너지 생산량 계산

총 에너지 생산량(E_G)은 두 번째 단계에서 계산된 조정되지 않은 에너지 생산량(E_U)에 풍력터빈이 설치될 지역의 온도와 압력 조건을 반영하여 보정한 값이며, Eq. 6를 이용하여 계산한다.

$$E_G = E_U \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \quad (6)$$

여기서 P 는 풍력터빈이 설치될 고도에서의 대기압(kPa), P_0 는 표준 대기압 (101.3 kPa), T 는 풍력터빈이 설치될 고도에서의 기온(K), T_0 는 표준절대온도(288.1 K)이다.

3.1.4 전력망으로 공급된 에너지 총량 계산

풍력터빈이 생산한 에너지는 다양한 손실 요인들에 의해 감소되기 때문에, 전력망으로 공급된 에너지의 총량은 풍력터빈이 생산한 에너지의 총량보다 줄어들게 된다. 본 연구에서는 Ha와 Kim(2005)에 제시된 것과 같이 RETScreen에서 사용되는 단순화된 수식(Eq. 7)을 이용하여 전력망 공급을 위해 수집된 에너지의 총량(E_S)을 계산하였다.

$$E_S = E_G \times (1 - \lambda_a) \times (1 - \lambda_s) \times (1 - \lambda_d) \times (1 - \lambda_m) \quad (7)$$

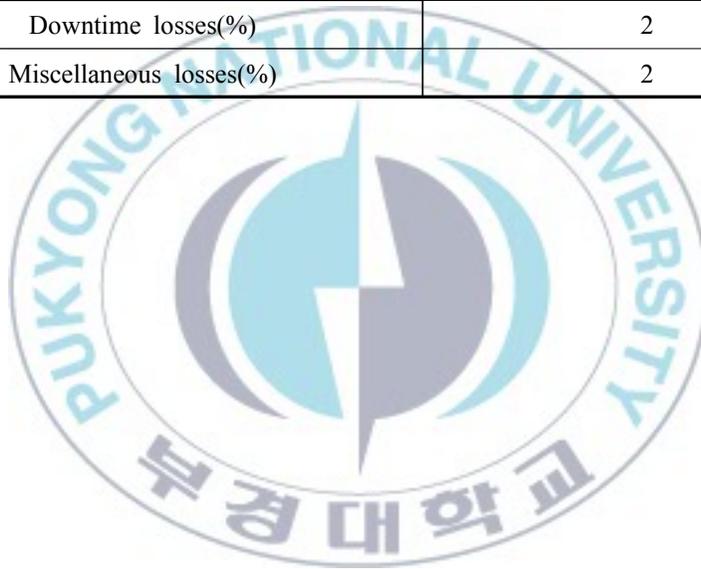
여기서 λ_a 는 풍력터빈 배열(array) 손실계수, λ_s 는 풍력터빈 블레이드에 결빙 또는 분진 흡착으로 인해 발생하는 손실계수(airfoil losses), λ_d 는 설비 보수 등으로 인한 정지(downtime) 손실계수, λ_m 는 기타(miscellaneous) 손실계수를 의미한다. 본 연구에서는 풍력터빈이 생산한 전력 에너지의 손실

과 관련하여 상수인 손실계수들을 포함하는 단순화된 수식을 사용하였다. 그러나 보다 정확한 계산을 위해서는 다중변수 확률 밀도 함수(multivariate probability density function)로 표시되는 수식을 사용하는 것이 타당하다. 이와 관련한 상세한 내용은 Tamura(2012)를 참조할 수 있다.

본 연구에서는 동일한 조건에서의 비교분석을 위해 각각의 폐광산 지역에 Nordex사에서 개발한 600 kW급 풍력터빈(모델명: Nordex N43) 1대를 설치하는 것으로 가정하고 Table 1과 같이 에너지 분석시 필요한 인자들을 설정하였다. 선택한 풍력터빈 모델의 풍속-출력곡선에 관한 자료는 RETScreen 소프트웨어가 제공하는 제품성능 데이터베이스에 이미 포함되어 있어 그대로 활용하였으며, Eq. 3에서 요구하는 풍속분포지수는 Weisser와 Foxon(2003)의 분석 결과에 따라 풍력발전 시스템 분야의 연구에서 일반적으로 사용되고 있는 0.142를 적용하였다. 풍력터빈을 한 개만 설치할 것이기 때문에 배열손실은 발생하지 않은 것으로 가정하였고, 터빈날개 손실계수, 정지시간 손실계수, 기타 손실계수 등 Nordex N43 모델의 제품 특성과 관련한 인자들은 본 연구와 동일한 풍력터빈 모델을 사용한 캐나다 Lethbridge 지역 풍력발전 프로젝트의 사례를 참고하여 동일한 값을 적용하였다(http://www.retscreen.net/ang/case_studies_19200kw_canada.php). 또한, 계통 연계형 풍력발전 시스템을 기준으로 분석을 수행하였기 때문에 배터리 등 축전 시스템에 관한 고려는 하지 않았다.

Table 1. Parameters for the energy analysis of wind power systems.

Parameter	Value
Power capacity of wind turbine(kW)	600
Hub height of wind turbine(m)	50
Roter diameter(m)	43
Swept area(m ²)	1452
Wind shear exponent	0.142
Array losses(%)	0
Airfoil losses(%)	1
Downtime losses(%)	2
Miscellaneous losses(%)	2



3.2 배기 분석

배기분석이란 풍력발전 시스템의 도입을 통해 기대할 수 있는 온실가스 감축 효과를 정량화하기 위하여, 풍력발전 시스템에서 생산되어 전력망에 공급된 전기 에너지와 등가의 에너지를 원자력발전, 화력발전 등 기존의 발전 시스템을 이용해 생산할 경우 발생하는 온실가스의 양을 계산하는 것이다. RETScreen은 배기분석을 위해 국가별 온실가스배출 기준 값(G)으로 연료유형별 단위 전력량(1MWh)당 발생하는 온실가스 배출량(tCO_2) 자료를 제공한다. 국가별 온실가스배출 기준 값과 전력망에서 발생하는 송배전 손실율(β , %)을 함께 고려하면 Eq. 8과 같이 단위 전력량 당 온실가스 배출량(G_t , tCO_2/MWh)을 계산할 수 있다.

$$G_t = G \times (1 + \beta) \quad (8)$$

우리나라의 경우 온실가스배출 기준 값(G)은 $0.467(tCO_2/MWh)$ 이며, 평균 송배전 손실율은 3.69%이다(KEPCO, 2011). 따라서 단위 전력량 당 온실가스 배출량(G_t)은 $0.485(tCO_2/MWh)$ 으로 계산된다. 앞서 에너지 분석을 통해 계산된 전력망으로 공급된 에너지 총량(E_s , MWh)과 단위 전력당 당 온실가스 배출량(G_t)을 고려하면 Eq. 9와 같이 풍력발전 시스템 설치를 통해 기대할 수 있는 온실가스 감축량(G_N , tCO_2)을 산출할 수 있다.

$$G_N = E_S \times G_t \quad (9)$$

3.3 재무 분석

본 연구에서는 RETScreen의 재무분석 도구를 이용하여 풍력발전 시스템의 경제성을 평가하였다. 재무분석을 위해서는 터빈가격 및 시공비용을 포함한 초기투자비, 연간 운영비, 물가상승률, 프로젝트 기간, 대출 비율 등의 재무관련 인자들의 설정이 필요하다. 본 연구에서는 폐광산 지역에 600 kW급 풍력터빈을 설치한다고 가정하고 Table 2와 같이 재무분석을 위한 인자들을 설정하였다. 물가상승률은 통계청(<https://www.index.go.kr>)에서 공시한 5년간(2007-2011년) 자료의 평균을 계산하여 3.4%로 가정하였으며, 풍력발전 시스템의 프로젝트 기간은 풍력터빈의 일반적인 수명을 고려하여 25년으로 설정하였다. 또한, 풍력발전 시스템 도입시 대출은 받지 않는 것으로 가정하였다.

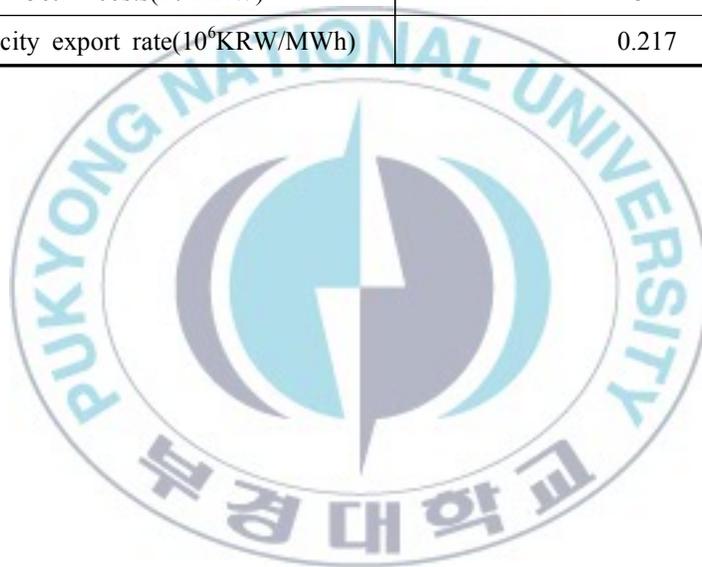
풍력터빈의 가격 및 시공비용과 운영비용은 미국 신재생에너지 연구소(NREL)에서 제공하는 SAM(System Advisor Model) 프로그램의 비용 데이터베이스(<https://sam.nrel.gov/cost>)를 이용하여 산정하였으며, 한화로의 환산을 위해 환율은 외환은행에서 공시한 5년간(2007-2011년)의 자료를 평균하여 미화 1달러당 1,134.01원을 적용하였다. 국내에서 신재생에너지 발전 시스템으로부터 기대할 수 있는 전력판매수익은 2012년부터 도입된 RPS제도에 따라 전력을 판매하여 얻는 수입인 한국전력거래소의 계통한계가

격인 SMP(<http://www.kpx.or.kr/>)와 에너지관리공단의 공급인증서(REC) 판매수입(<http://rts.kemco.or.kr/>)을 합산하여 1 MWh당 217,000원으로 산정하였다. 국내 폐광산 지역의 신재생에너지 도입과 관련하여 정부의 보조금 지원이나 세금감면 등의 혜택은 별도로 정해져 있는 것이 없으므로 본 연구에서는 인센티브(incentive)에 관련한 인자는 재무분석시 고려하지 않았다.



Table 2. Parameters for the financial analysis of wind power systems.

Financial parameter	Value
Inflation rate(%)	3.4
Project life(year)	25
Debt ratio(%)	0
Power system(10^6 KRW)	1,769.1
Installation costs(10^6 KRW)	141.5
Incentives and grants(KRW)	0
O&M costs(10^6 KRW)	34
Electricity export rate(10^6 KRW/MWh)	0.217



3.4 풍력자원지도 및 폐광산 위치도

본 연구에서는 강원도 전체 지역의 풍력자원과 관련한 자료를 수집하기 위하여 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터에서 제공하는 3 km × 3 km 해상도의 광역 풍력자원지도를 활용하였다. 활용한 풍력자원지도는 풍력터빈의 일반적인 설치 높이인 50 m 고도에서 2003년부터 2007년까지 수치기상모의 후 풍황탐 측정자료로 검증한 풍속, 기온, 대기압, 형인자 정보를 제공한다(Kim *et al.*, 2011). 풍속, 기온, 대기압 정보는 지리정보시스템(GIS)에서 활용할 수 있는 레이어의 형태로 제공되며(Fig. 5, 6, 7), 형인자에 관한 정보는 웹 사이트에서 그 값을 직접 조회할 수 있다. 강원도 지역의 폐광산 위치도는 한국광해관리공단에서 구축한 광산GIS 시스템 자료를 활용하여 작성하였다(Fig. 5, 6, 7). 풍력자원지도와 폐광산 위치도를 중첩한 결과 817개소의 폐광산 중 풍력자원지도의 자료 값이 없는 강원도 고성군 지역의 12개소 폐광산을 제외하고 나머지 805개소의 폐광산 지역에 대한 풍속, 기온, 대기압, 형인자 자료를 확보할 수 있었다.

X Abandoned Mines

50m Altitude Wind Speed

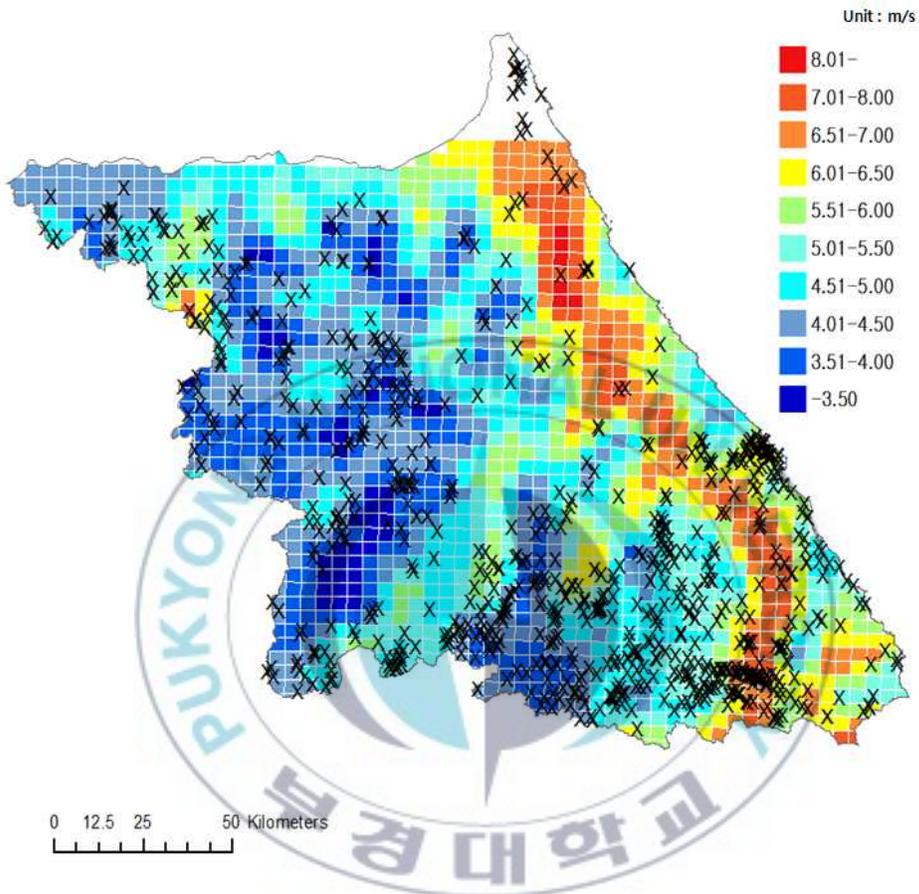


Fig. 5 Maps of Wind speed and abandoned mines in the Kangwon province (image source: KIER, <https://www.kredc.net>).

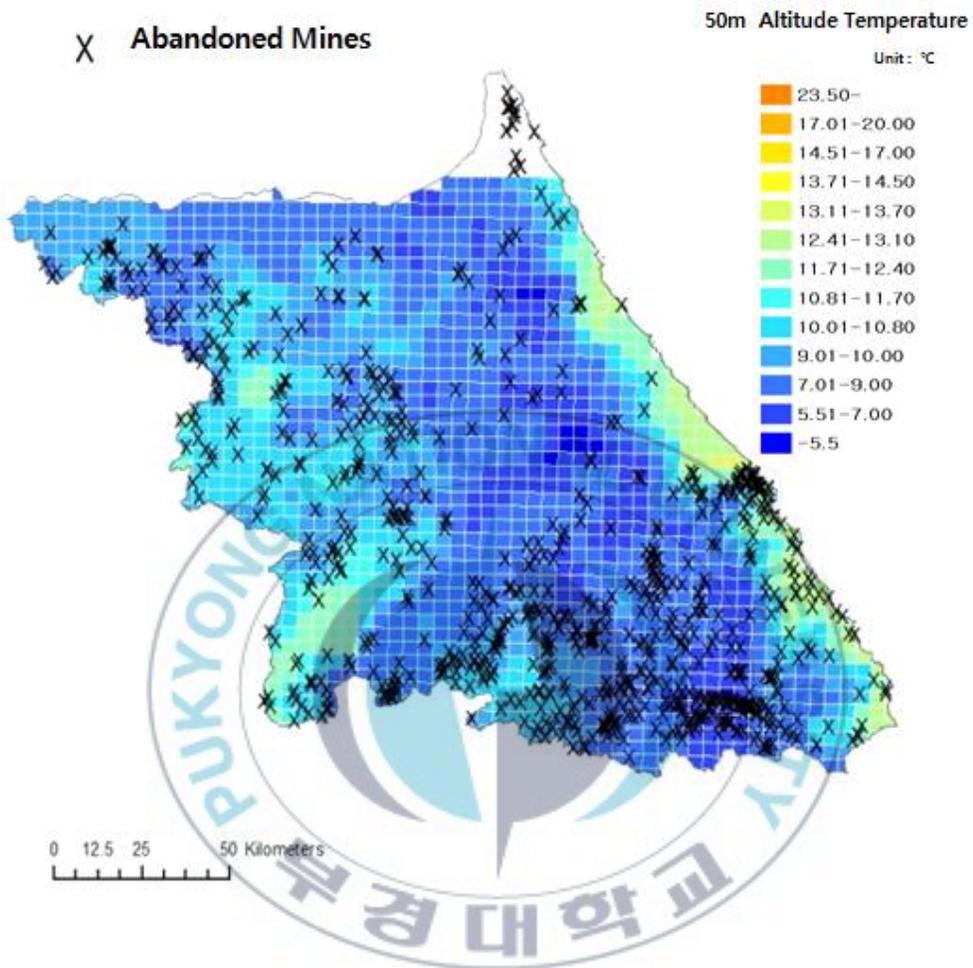


Fig. 6 Maps of Temperature and abandoned mines in the Kangwon province (image source: KIER, <https://www.kredc.net>).

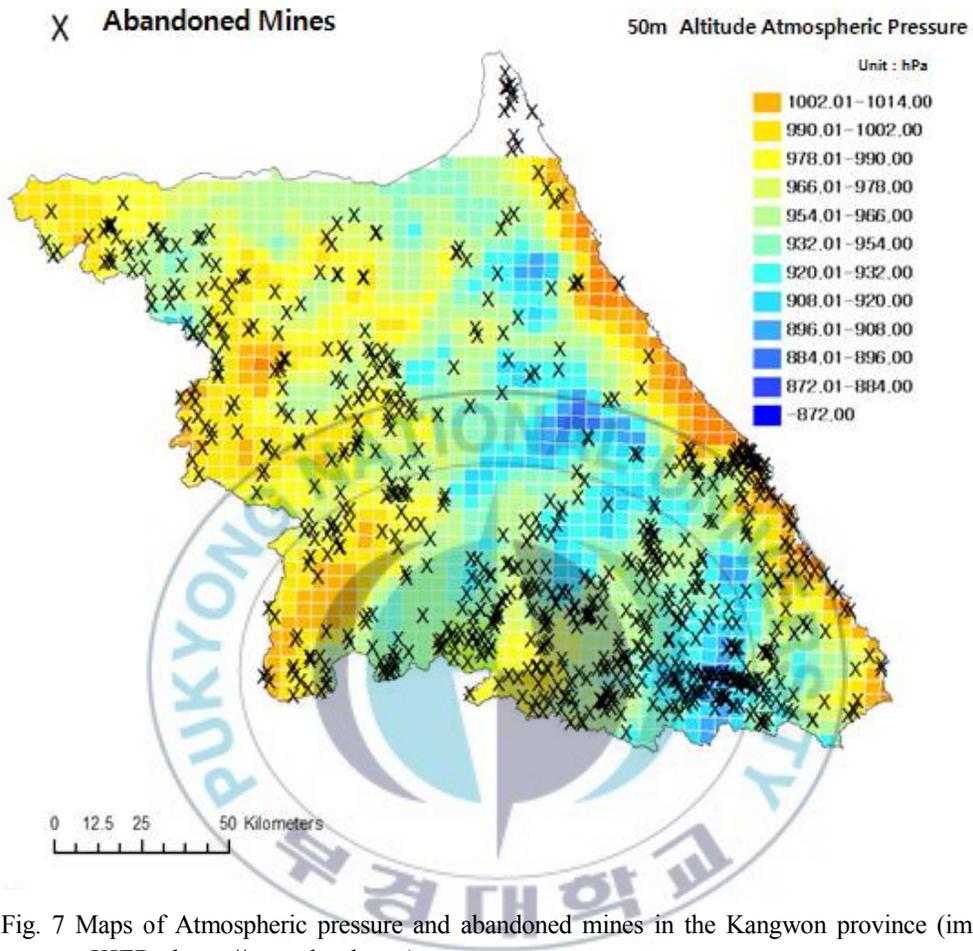


Fig. 7 Maps of Atmospheric pressure and abandoned mines in the Kangwon province (image source: KIER, <https://www.kredc.net>).

4. 연구결과

강원도 지역의 805개소의 폐광산 중 각기 다른 풍력자원 조건을 가진 5개의 폐광산(Table 3)을 대표광산으로 선정하여 에너지, 배기, 재무분석을 수행하였다. Table 4는 선정된 5개 폐광산에 대한 분석 결과를 보여준다. 분석 결과 세원철광이 전력 생산량, 온실가스 감축량, 자기자본 회수기간 등 모든 측면에서 풍력발전 잠재성이 가장 큰 것으로 평가되었다. 구체적으로는 세원철광의 경우 600 kW급 풍력터빈을 한 개 설치할 경우 연간 1,671 MWh의 에너지를 전력망에 공급할 수 있으며, 연간 780.6 tCO₂의 온실가스 감축 효과가 있는 것으로 분석되었다. 경제성 측면에서는 연간 전력판매 수익이 약 363백만원으로 분석되었으며, 초기 투자비용을 회수하는데 걸리는 자기자본 회수년도는 5.2년으로 나타났다. 세원철광에 이어 화천안국, 청룡, 대현, 부덕광산 순으로 풍력발전 잠재성이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 부덕광산의 경우 다른 광산들과 동일하게 600 kW급 풍력터빈 한 개를 고려하였지만 풍력자원 조건이 좋지 않아 연간 전력 생산량, 온실가스 감축량, 경제성 모두 상대적으로 낮게 분석되었다.

Table 3. Parameter values related to wind resources at 5 representative abandoned mines.

	Budeok	Daeheon	Chungryong	Hwacheonang uk	Sewon Iron
Wind speed(m/s)	3.34	4.33	5.02	6.29	7.94
Temperature(°C)	11.31	9.19	7.23	6.01	7.52
Atmospheric pressure(kPa)	99.61	96.53	92.29	89.58	92.90
Shape factor	1.04	1.24	1.68	1.67	1.28



Table 4. Assessment of wind power potential at 5 representative abandoned mines.

Type	Result	Budeok	Daeheon	Chungryong	Hwacheon anguk	Sewon Iron
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	453	697	808	1336	1867
	Annual gross energy production(MWh)	452	677	757	1219	1758
	Annual electricity exported to grid(MWh)	429	638	719	1159	1671
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	200.6	297.9	336.1	541.6	780.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6	1,910.6	1,910.6	1,910.6	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34	34	34	34	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	93.3	139.9	156.3	251.9	363.0
	Pre-tax IRR-assets(%)	1.5	6.2	7.5	14.2	20.8
	Equity payback(year)	21.6	13.9	12.4	7.6	5.2

이론적으로 풍력터빈의 전력 생산량은 풍속 조건에 가장 큰 영향을 받는다 (Boyle, 2004). 본 연구의 결과에서도 5개 폐광산에 설치된 600 kW급 풍력 터빈에서 기대할 수 있는 연간 총 전력 생산량을 50 m 고도 연평균 풍속 지도와 비교해 보면, 폐광산 지역의 평균 풍속이 연간 전력 생산량에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다(Fig. 8). 따라서 풍속조건이 풍력발전 잠재성 평가 결과에 결정적인 영향을 미친다고 판단하여, 강원도 지역에서 연평균 풍속이 6.5 m/s 이상인 지역(즉, Fig. 8에서 붉은색 계열로 풍속이 표시되는 지역)에 위치하고 있는 47개의 폐광산 지역을 대상으로 풍력발전 잠재성 평가를 수행하였다. Fig. 9는 47개 폐광산의 지역의 위치와 풍속조건을 보여준다.

47개 폐광산 지역의 풍력자원 관련 인자들과 에너지, 배기, 재무분석 결과는 Table 5와 같다. 분석결과를 종합하면 47개 광산은 모두 330백만원 이상의 연간수익과 6년 전후의 자본회수기간을 가지는 것으로 평가되었다. 최종적으로 47개 폐광산 중 풍력발전 잠재성이 높게 평가된 상위 10개의 폐광산(세원철광, 삼척, 북평, 진부, 우신, 동신, 옥일, 청산, 천원, 장성광산 순)을 제시하였다. Fig. 10은 풍력발전 잠재성이 높게 평가된 10개의 폐광산을 따로 분류하여 연간 수익과 자기자본 회수기간을 도식화한 것이다. 10개 폐광산 모두 6년이내에 자기자본 회수가 가능한 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 자료의 정확도에 따른 영향을 고려하기 위해 분석결과에 영향을 미치는 6개의 인자(풍속, 기온, 대기압, 형인자, 초기투자비용, 전력 판매단가)에 대하여 민감도 분석을 실시하였다. 에너지, 배기, 재무 분석 결과 가장 큰 잠재력을 보인 세원철광을 대상으로 세금 전 내부수익률인 IRR(%) 값을 이용하여 민감도 분석을 수행하였다(Fig. 11). 그래프에서 기울기가 큰 것이 경제성에 큰 영향을 미치는 인자를 의미한다. 분석의 결과 경제성에 가장 큰 영향을 주는 인자는 풍속이며 전력판매단가, 대기압 순으로 영향을 많이 주는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 자연적 조건인 기후특성을 위주로 분석을 수행하였으므로 제도적 측면이 뒷받침되어야 하는 경제성에 관련한 인자는 전 광산이 동일하다고 가정하였다.

또한, 대기압의 경우 세원철광의 대기압인 92.9 kPa의 $\pm 10\%$ 이상의 기압은 우리나라의 기후특성상 드물다. 따라서 민감도 분석의 결과 본 연구에서는 결과에 영향을 미치는 여러 인자들 중 풍속이 중점적으로 고려되어야 한다.

Annual Gross Energy Production (MWh)

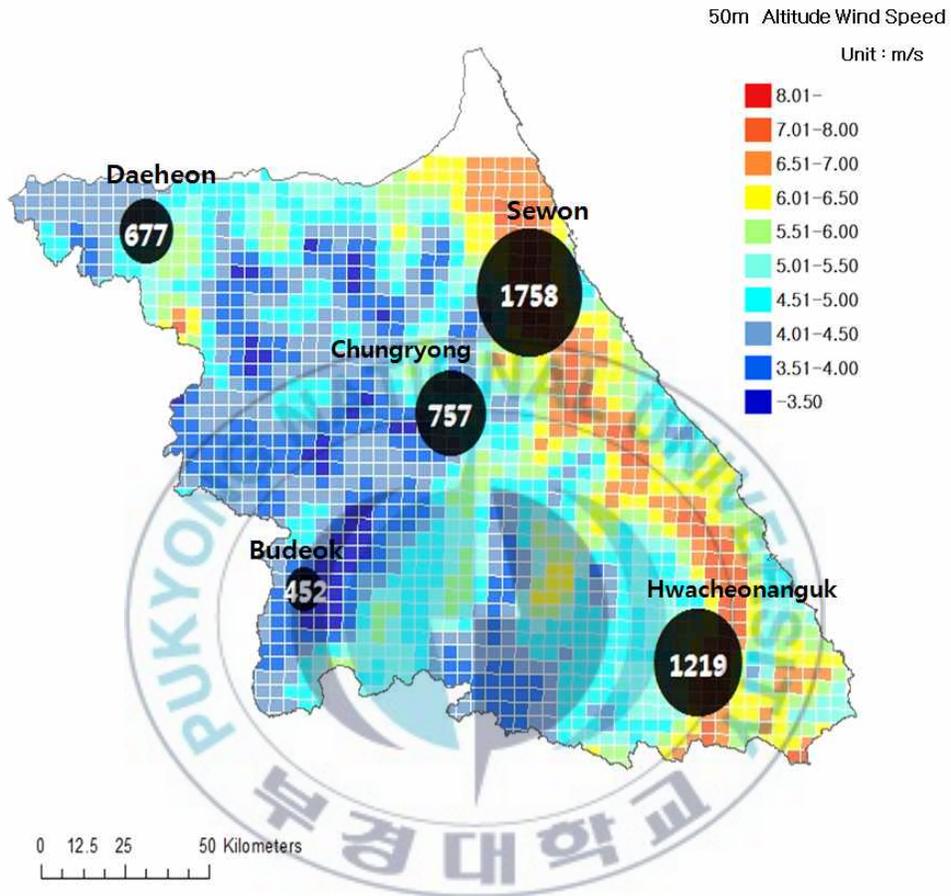


Fig. 8 Comparison of annual gross energy production (MWh) at 5 representative abandoned mines with 50m altitude wind speed in the Kangwon province (image source: KIER, <https://www.kredc.net>).

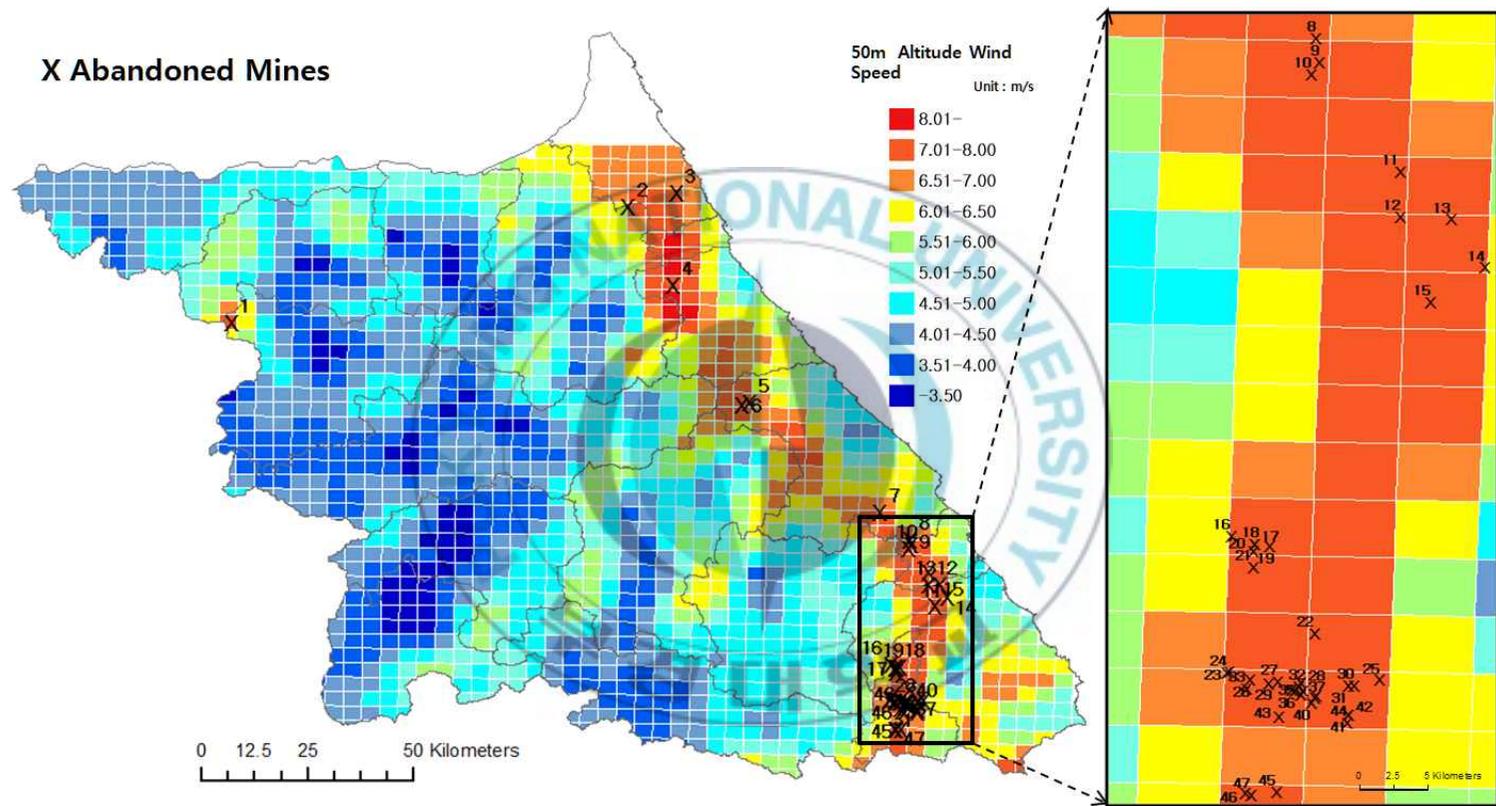


Fig. 9 47 abandoned mines with 50m altitude wind speed faster than 6.5m/s in the Kangwon province (image source: KIER, <https://www.kredc.net>).

Table 5. Assessment of wind power potential at 47 abandoned mines with 50m altitude wind speed faster than 6.5 m/s.

ID	Mine	Wind speed(m/s)	Temperature (°C)	Atmospheric pressure (kPa)	Shape factor	Annual electricity exported to grid (MWh)	Annual GHG emission reduction (tCO ₂)	Total annual savings and income (10 ⁶ KRW)	Equity payback (yr)
1	Wooil	7.02	6.47	90.19	1.60	1,503	667.6	310.54	6.1
2	Jinbu	7.37	7.54	93.63	1.73	1,682	747.1	347.51	5.5
3	Wooshin	7.35	10.11	98.11	1.26	1,667	740.3	344.36	5.5
4	Sewon	7.94	7.52	92.90	1.28	1,758	780.6	363.09	5.2
5	yeongok	7.34	8.56	93.79	1.19	1,572	698.0	324.66	5.9
6	Songchun	7.34	8.56	93.79	1.19	1,572	698.0	324.66	5.9
7	Doosan	7.07	10.17	96.87	1.16	1,535	681.6	317.05	6.0
8	Poomgok	7.09	10.40	97.14	1.22	1,566	695.4	323.44	5.9
9	Okil	7.40	9.03	94.53	1.34	1,652	733.5	341.19	5.6

10	Chungsan	7.40	9.03	94.53	1.34	1,652	733.5	341.19
11	Bookpyeong	7.76	9.02	94.05	1.22	1,692	751.4	349.50
12	Samcheoc	7.84	7.91	92.16	1.30	1,724	765.6	356.11
13	Naemiro	7.50	10.63	96.64	1.12	1,607	713.8	352.55
14	Miro	7.50	10.63	96.64	1.12	1,607	713.8	352.55
15	Chunwon	7.78	10.29	96.09	1.10	1,648	732.1	340.53
16	Dongkwang	7.23	6.50	90.02	1.55	1,569	696.6	324.03
17	Dongmyeong	7.23	6.50	90.02	1.55	1,569	696.6	324.03
18	Moolgeolli	7.23	6.50	90.02	1.55	1,569	696.6	324.03
19	Kwangdong	7.23	6.50	90.02	1.55	1,569	696.6	324.03
20	Sambong	7.23	6.50	90.02	1.55	1,569	696.6	324.03
21	Dongshin	7.54	6.62	89.90	1.46	1,652	733.8	341.34
22	Jangseong	7.55	8.76	93.30	1.22	1,627	722.8	336.20

23	Cheonui	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
24	Taegk	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
25	Samsung	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80	6.0
26	Cheolam	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
27	Samchang	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
28	Daedong	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
29	Poongsan	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
30	Kwangshin	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80	6.0
31	Hannam	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80	6.0
32	Hansung	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
33	Samkyeong	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
34	Hanyoung	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7
35	Hamtae	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52	5.7

36	Boseong	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52
37	Hwangji	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52
38	Yoojeong	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80
39	Tongri	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80
40	Borim	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80
41	Wonjin	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80
42	Songhak	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80
43	Hyeopseong	7.41	6.66	90.02	1.50	1,620	721.3	335.52
44	Samcheok	7.13	7.95	92.00	1.37	1,543	685.4	318.80
45	Taeyoung	7.11	6.85	90.25	1.55	1,531	680.0	316.31
46	Deokchun	7.11	6.85	90.25	1.55	1,531	680.0	316.31
47	Gyeongbong	7.11	6.85	90.25	1.55	1,531	680.0	316.31

Top 10 mine sites with high wind power potential

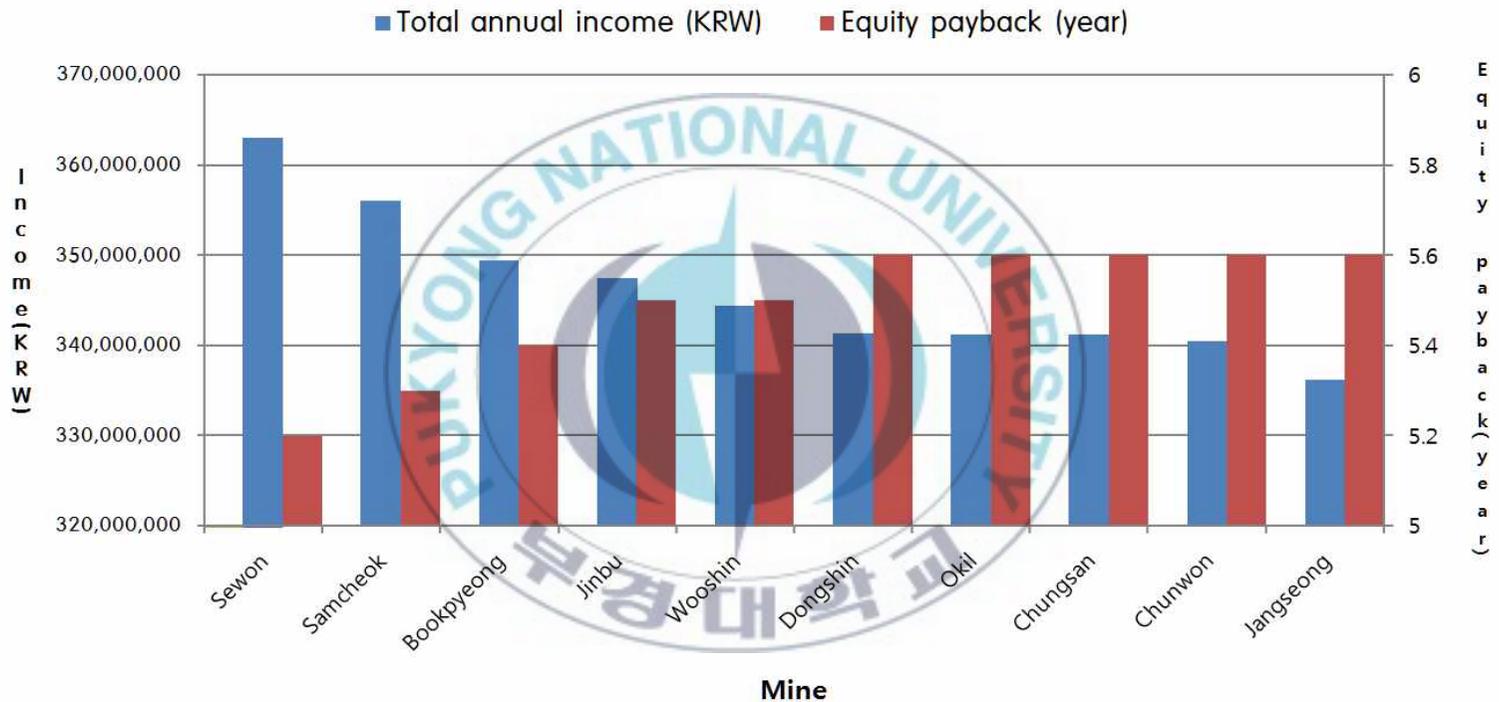


Fig. 10 Annual income and equity payback at top 10 mine sites with high wind power potential in the Kangwon province.

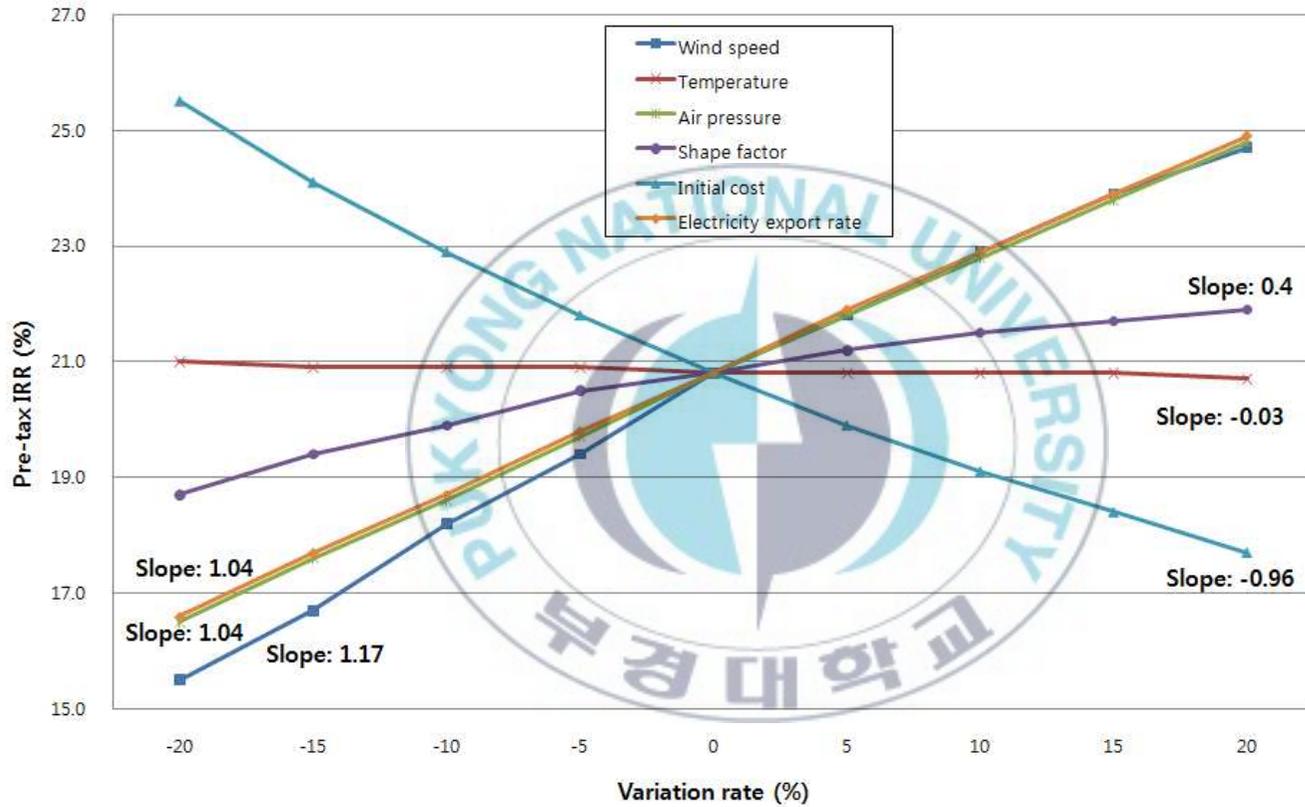


Fig. 11 Sensitivity analysis of financial parameters for wind power systems.

5. 결 론

본 연구에서는 강원도 폐광산 지역을 대상으로 600 kW급 풍력 터빈을 설치할 경우 기대할 수 있는 전력 생산량, 온실가스 감축 효과, 경제적 효과를 분석하여 풍력발전 잠재성을 평가하였다. 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터에서 제작한 풍력자원지도를 이용하여 폐광산 지역의 풍력자원 관련 인자 값들을 확보하였으며, 캐나다 천연자원부에서 개발한 RETScreen 소프트웨어를 이용하여 분석을 수행하였다. 풍력자원의 조건이 상이한 5개 대표광산(세월철광, 화천안국, 청룡, 대현, 부덕)을 선정하여 풍력발전 잠재성을 평가한 결과 세월철광이 연간 총 에너지 생산량 1,758 MWh, 온실가스 감축효과 780.6 tCO₂, 연간 총수익 363백만원, 자기자본 회수기간 5.2년으로 풍력발전 잠재성이 가장 높은 것으로 평가되었다. 5개 광산의 연간 총 에너지 생산량 분석 결과와 강원도 지역의 연평균 50 m 고도 풍속을 비교한 결과 이론적으로 잘 알려져 있는 바와 같이 대상지역의 풍속 조건이 풍력발전 잠재성 평가에 결정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 강원도 지역의 풍속 조건을 고려하여 연평균 풍속 6.5 m/s 이상인 지역에 위치하는 47개 폐광산을 대상으로 풍력발전 잠재성 평가를 수행하였고, 그 결과 풍력발전 잠재성이 높은 상위 10개 폐광산(세월철광, 삼척, 북평, 진부, 우신, 동신, 옥일, 청산, 천원, 장성광산 순)을 제시할 수 있었다.

한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터에서는 1 km × 1 km 고해상도 풍력자원지도도 제공하고 있으나 이 자료는 1년간(2007년)에 대한 자료이다. 본 연구에서는 풍속의 연간 변동성에 의한 불확실성을 경감하기

위하여 3년간(2005-2007년)에 대한 자료인 3 km × 3 km 중해상도 풍력자원지도를 이용하여 분석을 수행하였다. 그러나 3 km × 3 km 중해상도 풍력자원지도는 1 km × 1 km 고해상도 풍력자원지도에 비하여 지형 해상도가 떨어지기 때문에 풍속이 다소 과대 예측되었을 것으로 판단된다. 따라서 향후 연구에서는 풍력자원지도의 해상도의 문제로 인해 발생하는 풍속 과대예측에 관한 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 풍속분포지수로 평지에 해당하는 값인 0.142를 적용하였으나 이로 인해 풍속 과대예측 오차가 분석결과에 포함되어 있을 가능성이 있다.

본 연구의 재무 분석에서는 기후자료의 해상도 문제를 고려하여 풍력발전 도입을 위한 폐광산 부지의 매입가격이 고려되지 않았으며, 동일한 조건에서의 비교분석을 위해 부지별 설치가격을 동일하게 설정하였다. 따라서, 향후 고해상도의 기후자료를 이용한 상세분석 시에는 재무분석에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 인자에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 배기분석을 통해 감축할 수 있는 온실가스 감축량에 대해 청정개발제도(CDM)에 따른 수익을 적용한다면 추가적 수입원의 역할을 기대할 수 있을 것이다.

본 연구결과는 폐광산 지역의 대체산업 육성을 위해 풍력 발전소를 도입할 경우 기대할 수 있는 효과를 정량적으로 분석했다는 측면에서 의미를 가지며, 폐광산 지역 진흥정책 수립시 하나의 대안으로서 검토될 수 있을 것이라 판단된다. 또한, 본 연구에서 사용된 방법은 특정 지역에 제한적으로 적용할 수 있는 것이 아니라 범용적으로 활용될 수 있으므로, 분석시 사용된 인자 값들을 조정한다면 강원도 지역뿐만 아니라 국내 타 지역의 폐광산 풍력발전 잠재성 평가시에도 활용될 수 있을 것이다.

6. 참고 문헌

- Barthelmie, R.J., Murray, F. and Pryor, S.C., 2008, "The economic benefit of short-term forecasting for wind energy in the UK electricity market," *Energy Policy*, Vol. 36, No. 5, pp. 1687-1696.
- Bekele, G. and Palm, B., 2009, "Wind energy potential assessment at four typical locations in Ethiopia," *Applied Energy*, Vol. 86, No. 3, pp. 388-396.
- Boyle, G., 2004, *Renewable Energy*, 2nd Ed., The Open University, Milton Keynes, UK, pp. 244-292.
- Celik, A.N., 2003, "Assessing the suitability of wind speed probability distribution functions based on wind power density," *Renewable Energy*, Vol. 28, No. 10, pp. 1563-1574.
- Duncan, W., Lozano, S., Romero, O. and Romero, S., 2012, *Wind energy on the border: a model for maximum benefit*, Woodrow Wilson International Center for Scholars, Pennsylvania Ave., Washington, D.C., USA, pp. 1-24.
- Gipe, P., 1995, *Wind Energy Comes of Age*, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. pp. 150-151.
- Ha, J.W. and Kim, S.D., 2005, "A Study on the Wind Power Generation and Its Economic Feasibility at Daekwanryung," *Journal of Energy Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 123-132. [In Korean with English abstract].
- Hiester, T.R. and Pennell, W.T., 1981, *The Siting handbook for Large Wind Energy System*, Windbooks, New York, USA. pp. 6-18
- Hong, L. and Möller, B., 2011, "Offshore wind energy potential in China: Under technical, spatial and economic constraints," *Energy*, Vol. 36, No. 7, pp. 4482-4491.

- Kang, K.S., Lee, J.S., Kim, J.Y. and Ryu, M.S., 2011, "Economic Analysis of Offshore Wind Farm considering Domestic Development Conditions of Korea," *Journal of Wind Energy*, Vol. 2, No. 1, pp. 37-43. [In Korean with English abstract].
- KEMCO, 2010, *New and Renewable Energy 2010*, Korea Electric Power Corporation, Seoul, Korea, p. 352, <http://www.kemco.or.kr> (assessed at 04 June 2013).
- KEPCO, 2011, *KEPCO in Brief*, Korea Energy Management Corporation, Seoul, Korea, p. 29, <http://www.kepco.co.kr> (assessed at 04 June 2013).
- Keyhani, A., Varnamkhasti, M.G., Khanali, M. and Abbaszadeh, R., 2010, "An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran," *Energy*, Vol. 35, No. 1, pp. 188-201.
- Kim, D.W. and Byun, H.R., 2008, "Spatial and temporal distribution of Wind Resources over Korea," *Korean Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 28, No. 3, pp. 171-182. [In Korean with English abstract].
- Kim, N.H. and Jin, J.W., 2010, "Assessment of Wind energy Potential around Jeju Coastal Area," *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 6, pp. 617-625. [In Korean with English abstract].
- Kim, H.G., 2008, "Preliminary Estimation of Wind Resource Potential in South Korea," *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 28, No. 6, pp. 1-7. [In Korean with English abstract].
- Kim, H.G., Lee, H.W. and Jung, W.S., 2005, "Establishment of a Wind Map of the Korean Peninsula: I. Evaluation of Offshore Wind Resources Using Remote-Sensing Data," *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 21, No. 1, pp. 63-72. [In Korean with English abstract].
- Kim, H.G., Lee, H.W. and Lee, S.H., 2011, "Development of the Korea Wind

- Resource Map and Suitability Assessment System for Offshore Wind Farm,” *Wind Energy Journal*, Vol. 2, No. 2, pp. 17-23. [In Korean with English abstract].
- Lee, S.H., Kim, M.J. and Lee, H.W., 2007, “Characteristics of Efficient Radius of Meteorological Observation Data to Estimate Regional Wind Energy,” *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 23, No. 5, pp. 585-595. [In Korean with English abstract].
- Li, M., and Li, X., 2005, “Investigation of wind characteristics and assessment of wind energy potential for Waterloo region, Canada,.” *Energy Conversion and Management*, Vol. 46, No. 18-19, pp. 3014-3033.
- MIRECO, 2012, *2012 Yearbook of MIRECO Statistics*, Mine Reclamation Corporation, Seoul, Korea, p. 5, <http://www.mireco.or.kr> (assessed at 04 June 2013).
- Moon, C.J., Cheang, E.H., Shim, K.S., Jung, K.S. and Chang, Y.H., 2008, “Feasibility study of wind power generation considering the topographical characteristics of Korea,” *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 28, No. 6, pp. 24-32. [In Korean with English abstract].
- NRCAN, 2005, *Clean Energy Project Analysis: RetScreen Engineering & Cases Textbook*, Minister of Natural Resources Canada, <http://www.retscreen.net> (assessed at 04 June 2013).
- Rehman, S. and Ahmad, A., 2004, “Assessment of wind energy potential for coastal locations of the Kingdom of Saudi Arabia,” *Energy*, Vol. 29, No. 8, pp. 1105-1115.
- Tamura, J., 2012, “Calculation Method of Losses and Efficiency of Wind Generators,” In: Muyeen, S.M.(eds.), *Wind Energy Conversion Systems: Technology and Trends*, Springer, Berlin, Germany, pp. 25-51.
- Tuğrul Oğulata, R., 2003, “Energy sector and wind energy potential in Turkey,”

Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 7, No. 6, pp. 469-484.

Weisser, D. and Foxon, T. J., 2003, "Implications of seasonal and diurnal variations of wind velocity for power output estimation of a turbine: a case study of Grenada," *International Journal of Energy Research*, Vol. 27, No. 13, pp. 1165-1179.



7. 요약

본 연구에서는 600 kW급 풍력 터빈을 설치할 경우 기대할 수 있는 전력 생산량, 온실가스 감축 효과, 경제적 효과를 분석하여 강원도 폐광산 지역의 풍력발전 잠재성을 평가하였다. 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터에서 제작한 풍력자원 지도를 활용하여 50 m 고도에서 평균 풍속, 기온, 기압 값을 결정하였고, 캐나다 천연자원부에서 개발한 RETScreen 소프트웨어를 이용하여 풍력 발전 시스템의 에너지, 배기, 재무분석을 수행하였다. 5개 대표 폐광산에 대한 분석을 통해 평균 풍속 조건이 풍력발전 잠재성을 평가하는데 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 50 m 고도에서 6.5 m/s 이상의 평균 풍속을 가지는 47개의 폐광산 지역을 분석하여 상대적으로 풍력발전 잠재성이 높은 10개의 폐광산을 제안할 수 있었다. 본 연구의 결과는 폐광산 지역의 진흥정책 수립을 위한 하나의 대안으로서 검토될 수 있을 것이다.

< 1. 우일광산 (Wooil) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 금
- 주소: 강원도 춘천시 서면 덕두원리 산430

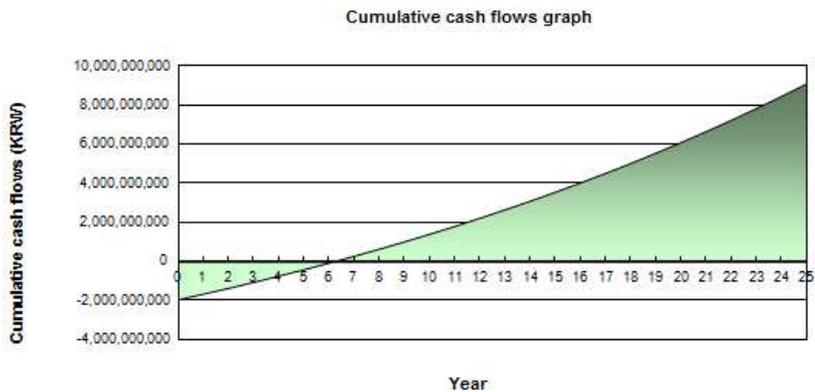
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.02	6.47	90.192	1.60

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1638
	Annual gross energy production(MWh)	1503
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1429
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	667.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	310.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	17.8
	Equity payback(year)	6.1

4. 누적 현금유동 그래프



< 2. 진부탄광 (Jinbu) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 고성군 간성읍 흘리 산 1-2

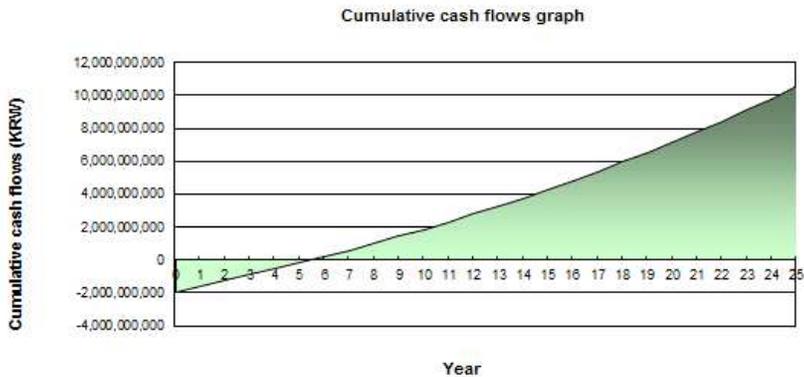
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.37	7.54	93.631	1.73

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1773
	Annual gross energy production(MWh)	1682
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1599
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	747.1
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	347.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	20.0
	Equity payback(year)	5.5

4. 누적 현금유동 그래프



< 3. 우신광산 (Wooshin) >

1. 광산특징

- 분류: 폐비금속광
- 생산광종: 장석, 연옥
- 주소: 강원도 고성군 간성읍 학야리 산13

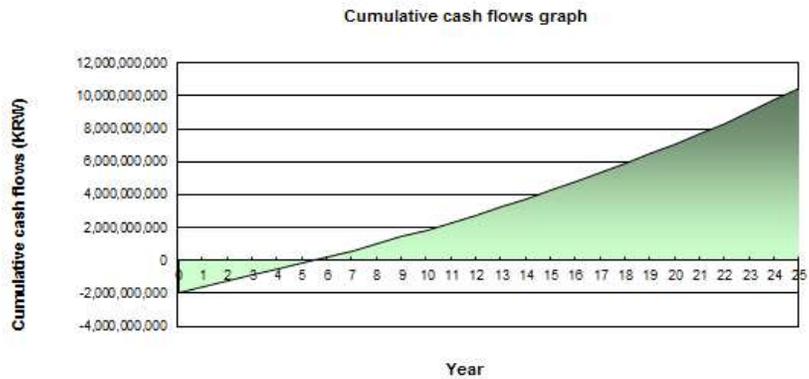
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.35	10.11	98.110	1.26

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1692
	Annual gross energy production(MWh)	1667
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1585
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	740.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	344.4
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.8
	Equity payback(year)	5.5

4. 누적 현금유동 그래프



< 4. 세원철광 (Sewon) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 철
- 주소: 강원도 양양군 서면 오색리 204

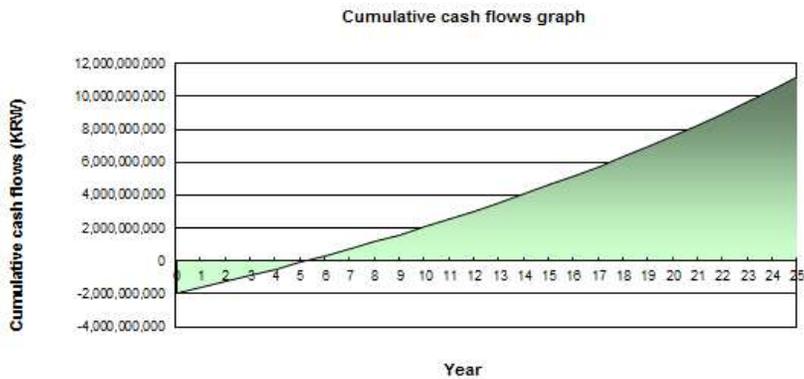
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.94	7.52	92.897	1.28

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1867
	Annual gross energy production(MWh)	1758
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1671
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	780.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	363.0
	Pre-tax IRR-assets(%)	20.8
	Equity payback(year)	5.2

4. 누적 현금유동 그래프



< 5. 연곡광산 (Yeongok) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 몰리브덴
- 주소: 강원도 강릉시 연곡면 삼산리 산1-12

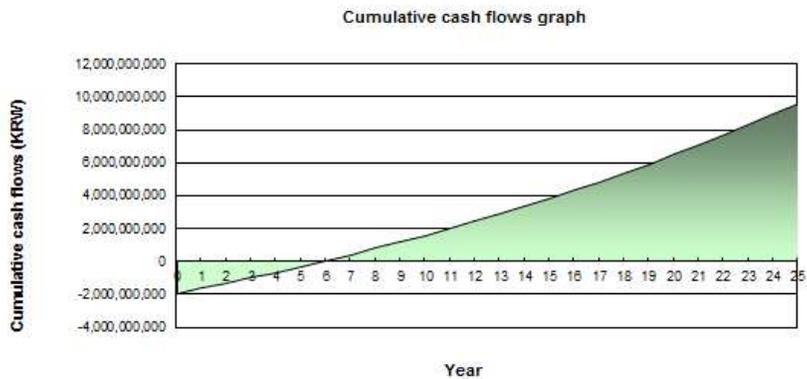
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.34	8.56	93.791	1.19

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1659
	Annual gross energy production(MWh)	1572
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1494
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	698.0
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	324.7
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.6
	Equity payback(year)	5.9

4. 누적 현금유동 그래프



< 6. 송천광산 (Songchun) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 금, 은, 동
- 주소: 강원도 강릉시 연곡면 삼산리 1173

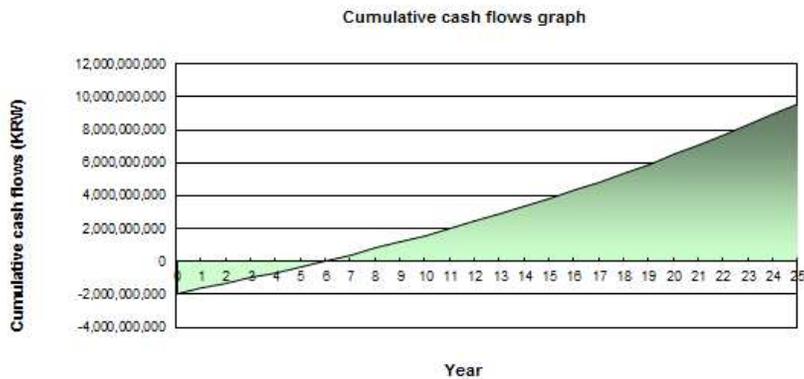
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.34	8.56	93.791	1.19

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1659
	Annual gross energy production(MWh)	1572
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1494
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	698.0
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	324.7
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.6
	Equity payback(year)	5.9

4. 누적 현금유동 그래프



< 7. 두산규석광산 (Doosan) >

1. 광산특징

- 분류: 폐비금속광
- 생산광종: 규석
- 주소: 강원도 강릉시 옥계면 산계리 산289

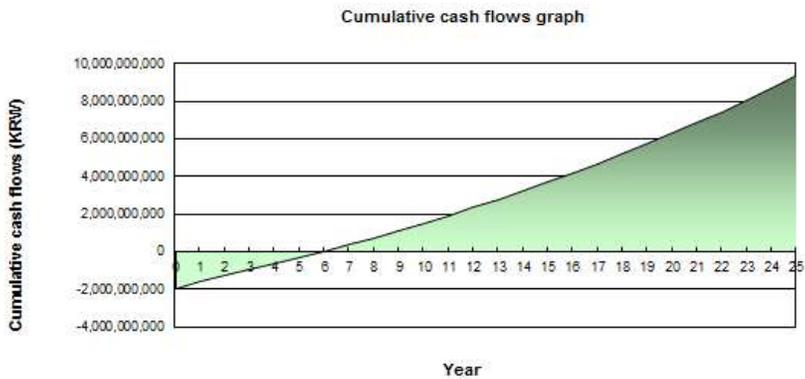
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.07	10.17	96.870	1.16

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1578
	Annual gross energy production(MWh)	1535
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1459
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	681.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	317.0
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.2
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 8. 품곡광산 (Poomgok) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 금, 연
- 주소: 강원도 동해시 삼화동 산287-22

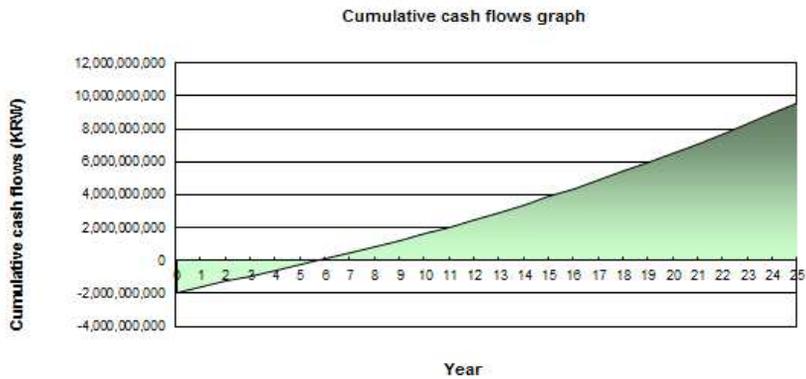
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.09	10.40	97.136	1.22

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1607
	Annual gross energy production(MWh)	1566
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1489
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	695.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	323.4
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.6
	Equity payback(year)	5.9

4. 누적 현금유동 그래프



< 9. 옥일광산 (Okil) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 금
- 주소: 강원도 동해시 신흥동 산287-1

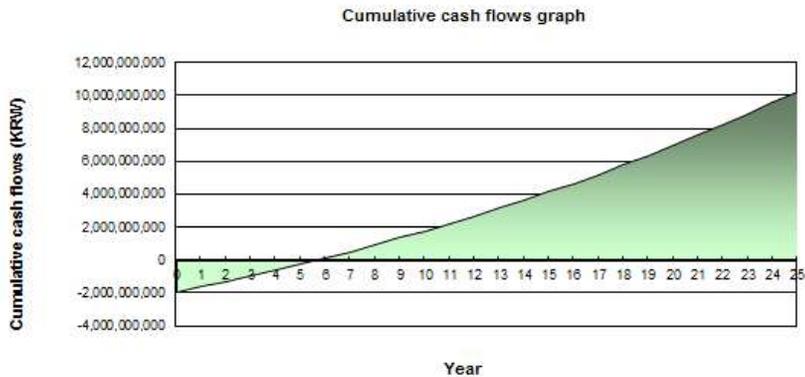
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.40	9.03	94.533	1.34

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1733
	Annual gross energy production(MWh)	1652
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1570
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	733.5
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	341.2
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.6
	Equity payback(year)	5.6

4. 누적 현금유동 그래프



< 10. 청산광산 (Chungsan) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 철
- 주소: 강원도 동해시 신흥동 산287-1

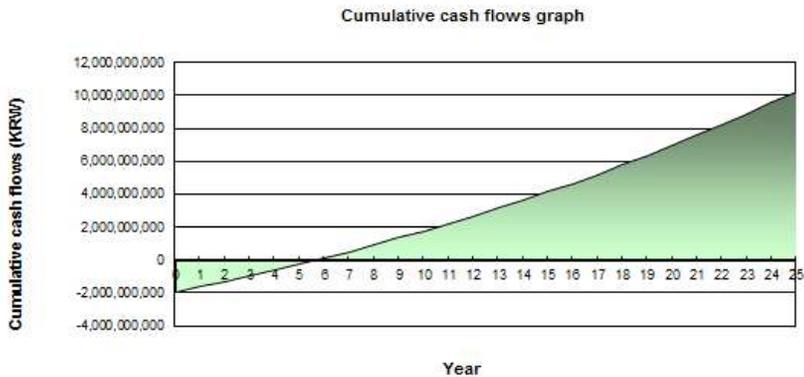
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.40	9.03	94.533	1.34

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1733
	Annual gross energy production(MWh)	1652
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1570
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	733.5
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	341.2
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.6
	Equity payback(year)	5.6

4. 누적 현금유동 그래프



< 11. 북평철산 (Bookpyeong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 철
- 주소: 강원도 동해시 삼화동 산171

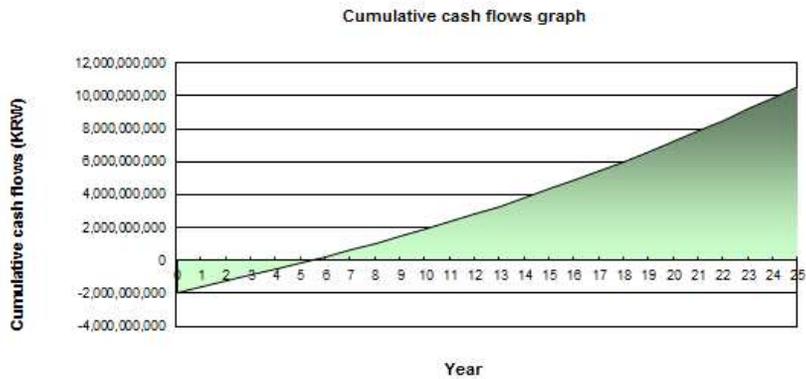
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.76	9.02	94.045	1.22

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1785
	Annual gross energy production(MWh)	1692
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1609
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	751.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	349.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	20.1
	Equity payback(year)	5.4

4. 누적 현금유동 그래프



< 12. 삼척광산 (Samcheoc) >

1. 광산특징

- 분류: 폐비금속광
- 생산광종: 인상흑연
- 주소: 강원도 삼척시 근덕면 부남리 184

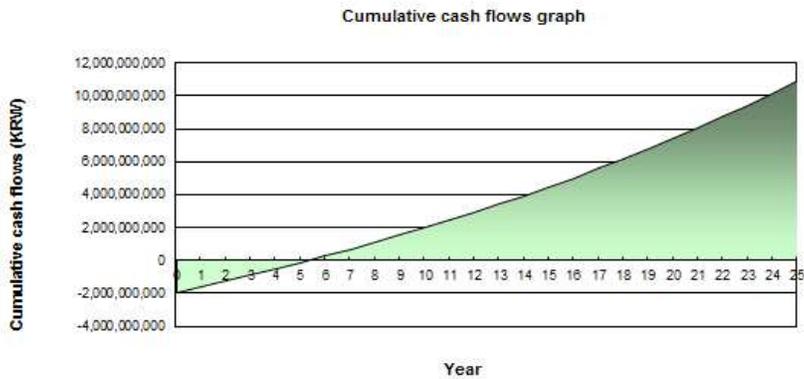
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.84	7.91	92.159	1.30

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1848
	Annual gross energy production(MWh)	1724
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1639
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	765.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	356.1
	Pre-tax IRR-assets(%)	20.4
	Equity payback(year)	5.3

4. 누적 현금유동 그래프



< 13. 내미로광산 (Naemiro) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 철
- 주소: 강원도 삼척시 미로면 내미로 산333

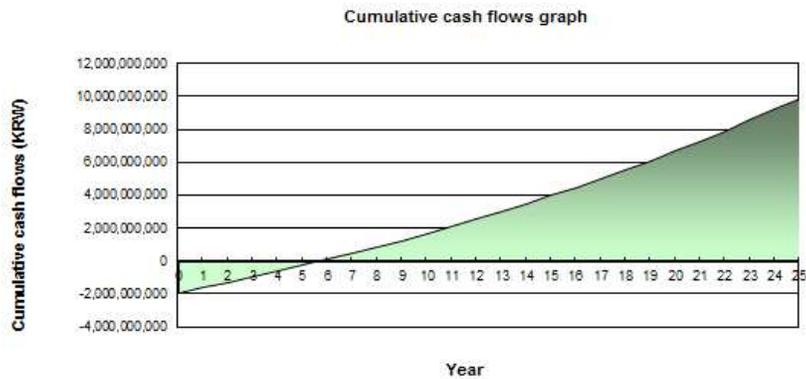
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.50	10.63	96.638	1.12

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1659
	Annual gross energy production(MWh)	1607
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1528
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	713.8
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	352.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.1
	Equity payback(year)	5.4

4. 누적 현금유동 그래프



< 14. 미로광산 (Miro) >

1. 광산특징

- 분류: 폐비금속광
- 생산광종: 고령토
- 주소: 강원도 삼척시 미로면 고천리 산7

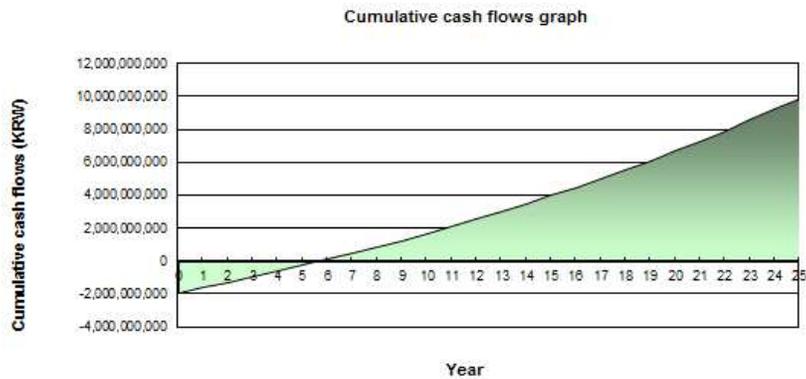
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.50	10.63	96.638	1.12

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1659
	Annual gross energy production(MWh)	1607
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1528
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	713.8
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	352.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.1
	Equity payback(year)	5.4

4. 누적 현금유동 그래프



< 15. 천원철광 (Chunwon) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 철
- 주소: 강원도 삼척시 미로면 상사전리 산46-3

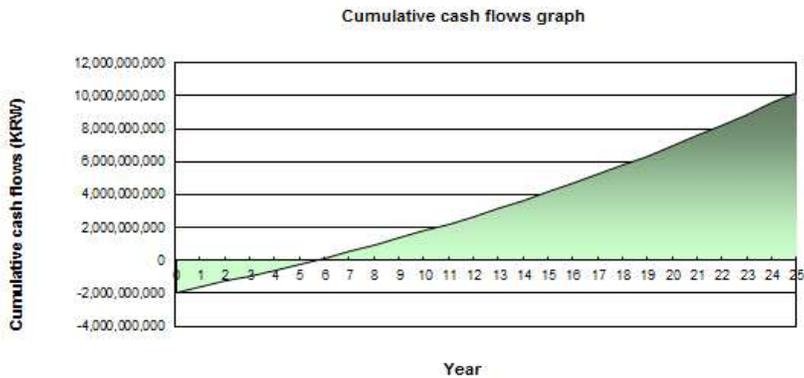
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.78	10.29	96.092	1.10

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1709
	Annual gross energy production(MWh)	1648
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1567
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	732.1
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	340.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.5
	Equity payback(year)	5.6

4. 누적 현금유동 그래프



< 16. 동광광산 (Dongkwang) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 동점동 산57-1

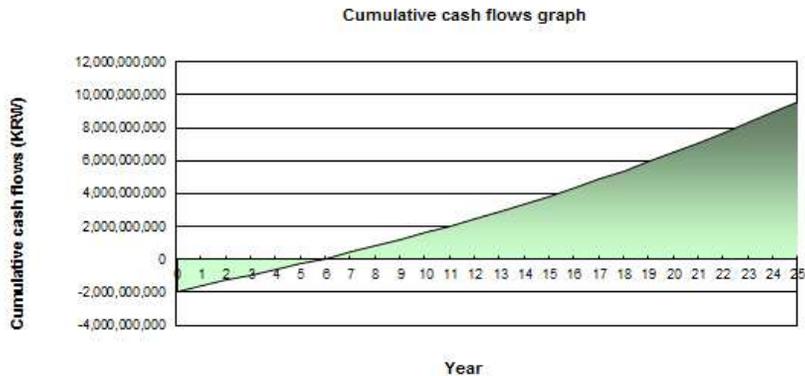
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.23	6.50	90.023	1.55

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1713
	Annual gross energy production(MWh)	1569
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1491
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	696.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	324.0
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.6
	Equity payback(year)	5.9

4. 누적 현금유동 그래프



< 17. 동명광산 (Dongmyeong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 화전동 산47-1

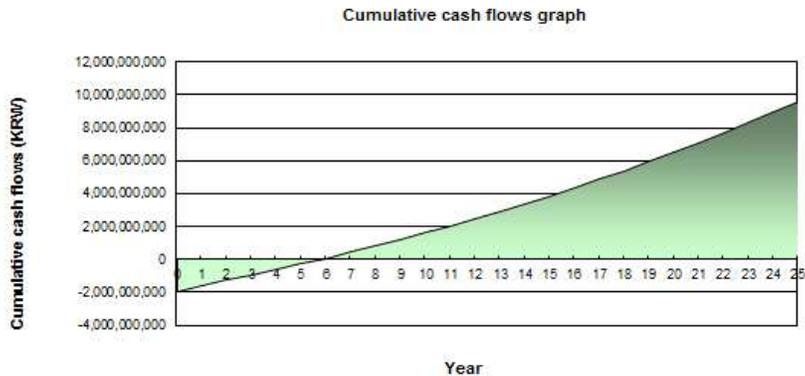
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.23	6.50	90.023	1.55

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1713
	Annual gross energy production(MWh)	1569
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1491
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	696.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	324.0
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.6
	Equity payback(year)	5.9

4. 누적 현금유동 그래프



< 18. 물걸리광산 (Moolgeolli) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 금,은
- 주소: 강원도 홍천군 내촌면 물걸리 산92-2

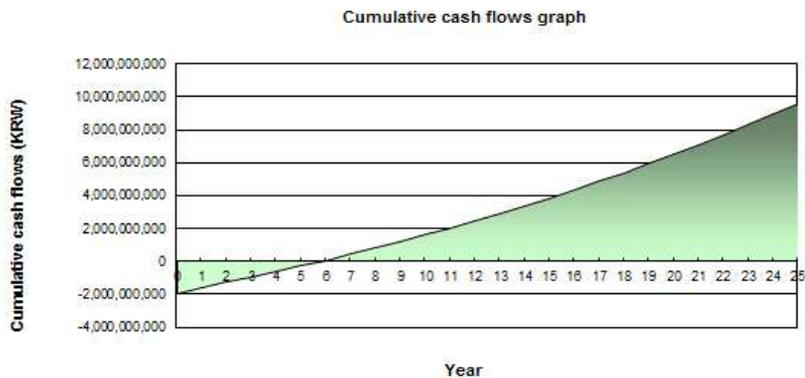
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.23	6.50	90.023	1.55

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1713
	Annual gross energy production(MWh)	1569
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1491
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	696.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	324.0
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.6
	Equity payback(year)	5.9

4. 누적 현금유동 그래프



< 19. 광동광산 (Kwangdong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 황지동 산173-1

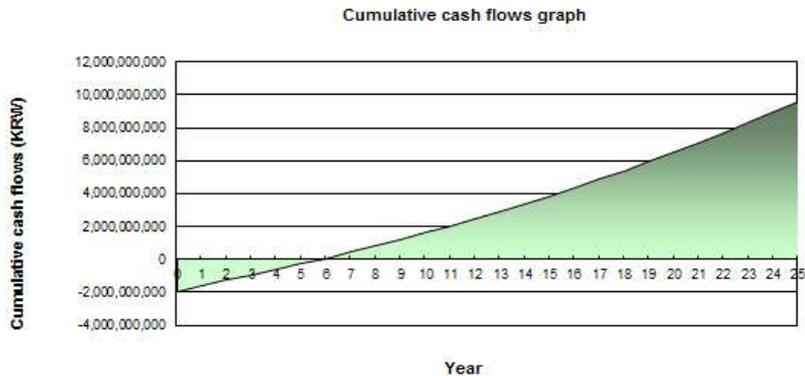
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.23	6.50	90.023	1.55

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1713
	Annual gross energy production(MWh)	1569
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1491
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	696.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	324.0
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.6
	Equity payback(year)	5.9

4. 누적 현금유동 그래프



< 20. 삼봉광산 (Sambong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 화전동 산174-1

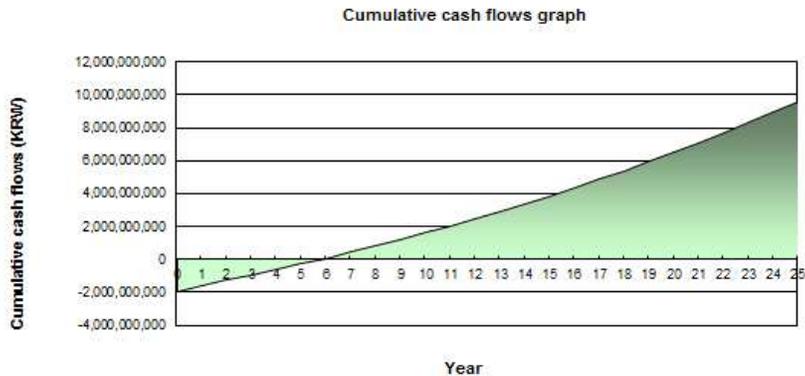
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.23	6.50	90.023	1.55

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1713
	Annual gross energy production(MWh)	1569
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1491
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	696.6
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	324.0
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.6
	Equity payback(year)	5.9

4. 누적 현금유동 그래프



< 21. 동신광산 (Dongshin) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 삼척시 도계읍 심포리 산111-4

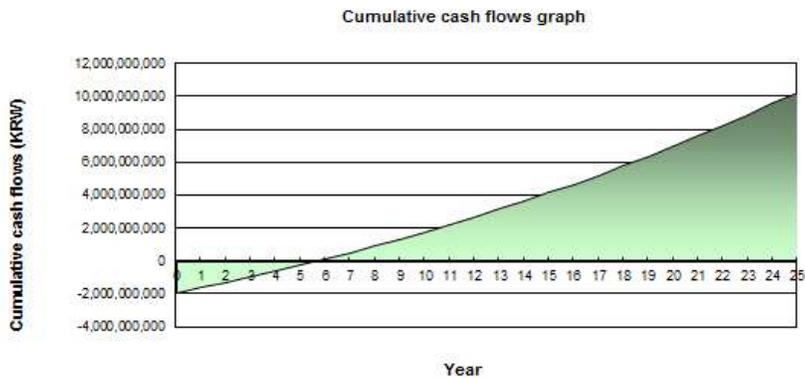
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.54	6.62	89.895	1.46

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1808
	Annual gross energy production(MWh)	1652
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1571
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	733.8
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	341.3
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.6
	Equity payback(year)	5.6

4. 누적 현금유동 그래프



< 22. 장성광산 (Jangseong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 망간
- 주소: 강원도 태백시 장성동 31-1

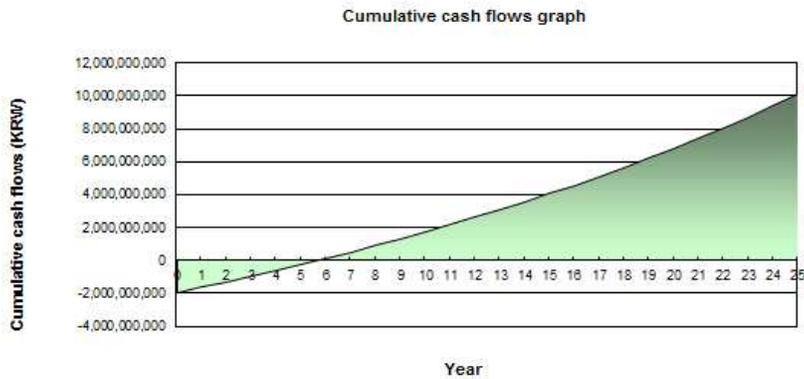
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.55	8.76	93.295	1.22

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1729
	Annual gross energy production(MWh)	1627
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1547
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	722.8
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	336.2
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.3
	Equity payback(year)	5.6

4. 누적 현금유동 그래프



< 23. 천의광산 (Cheonui) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 철
- 주소: 강원도 태백시 적각동 산56

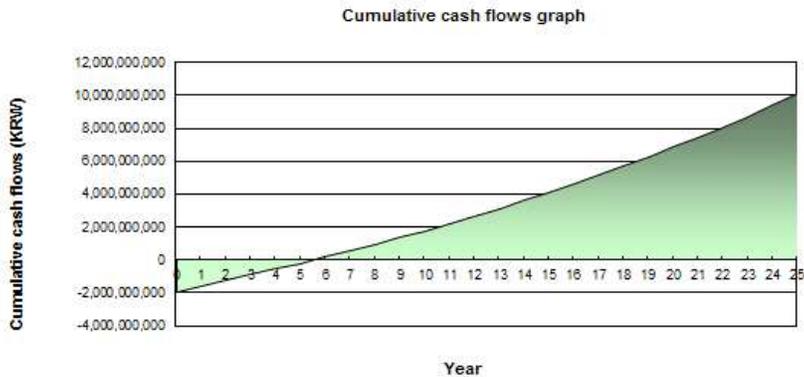
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 24. 태극광산 (Taegk) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 소도동 산18

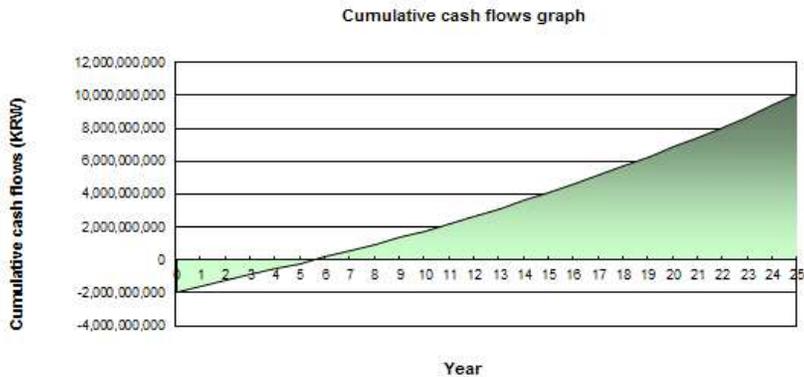
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 25. 삼성광산 (Samsung) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 철암동 산1-3

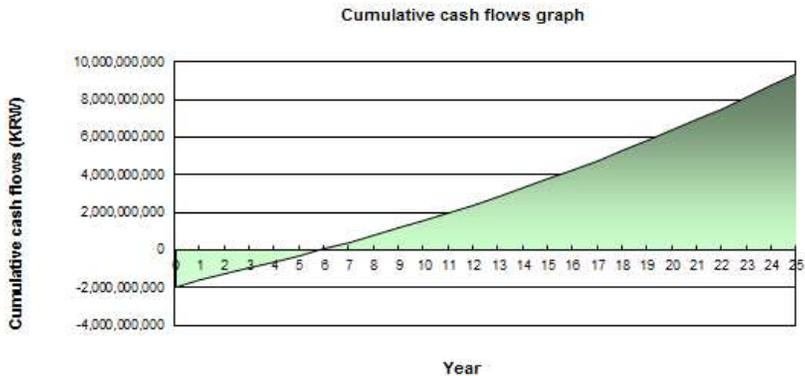
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 26. 철암광산 (Cheolam) >

1. 광산특징

- 분류: 폐비금속광
- 생산광종: 석회석
- 주소: 강원도 태백시 백산동 산54

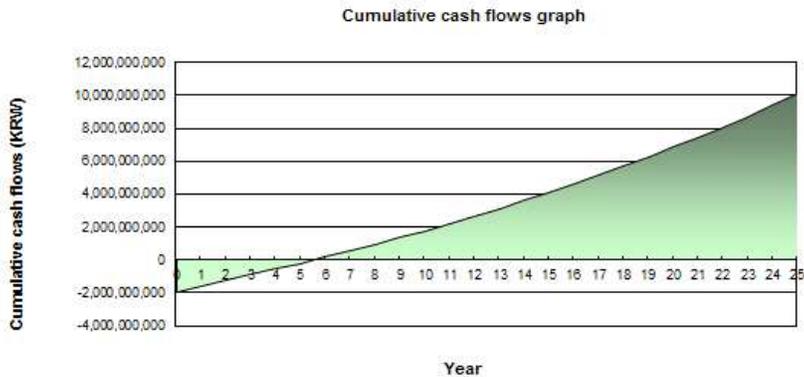
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 27. 삼창광산 (Samchang) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 혈동 산57

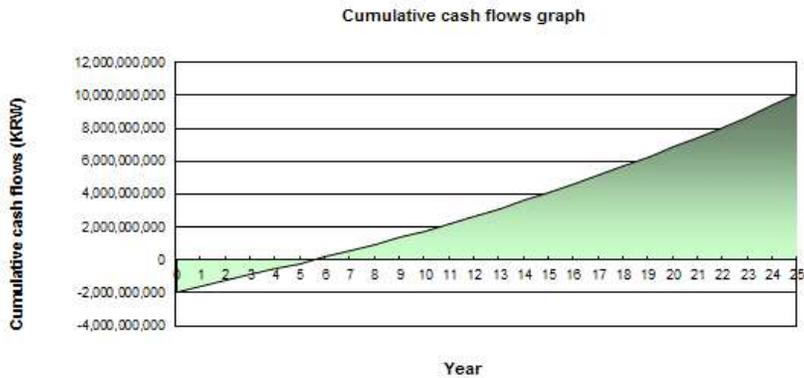
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 28. 대동광산 (Daedong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 황지동 산12-21

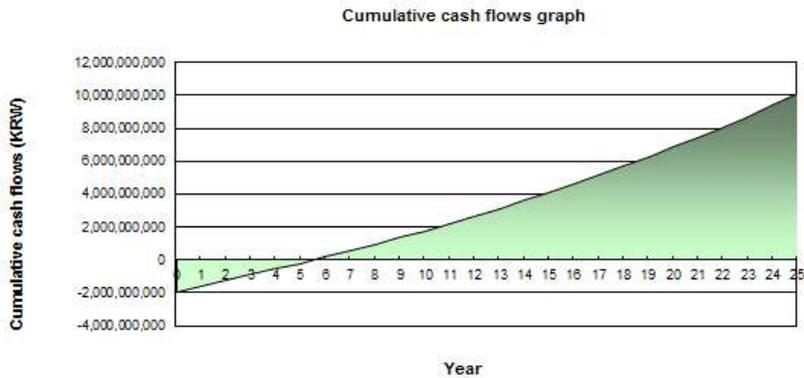
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 29. 풍산광산 (Poongsan) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 혈동 산57

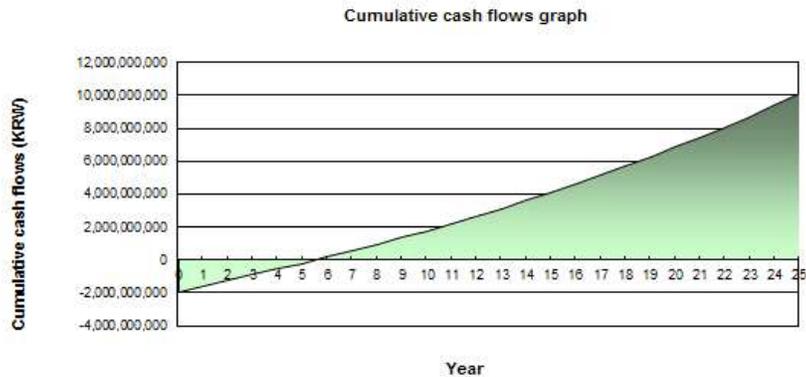
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 30. 광신광산 (Kwangshin) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 화전동 산47-61

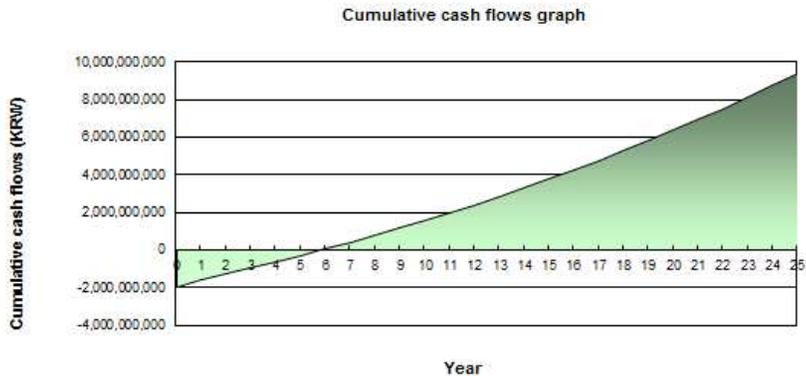
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 31. 한남광산 (Hannam) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 소도동 산24-6

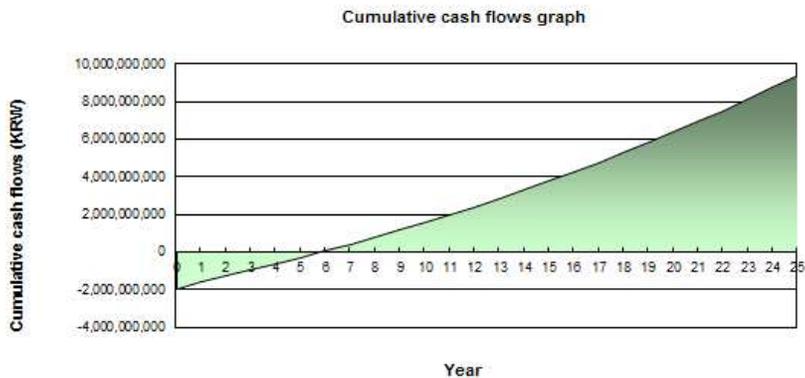
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 32. 한성광산 (Hansung) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 황지동 336-1

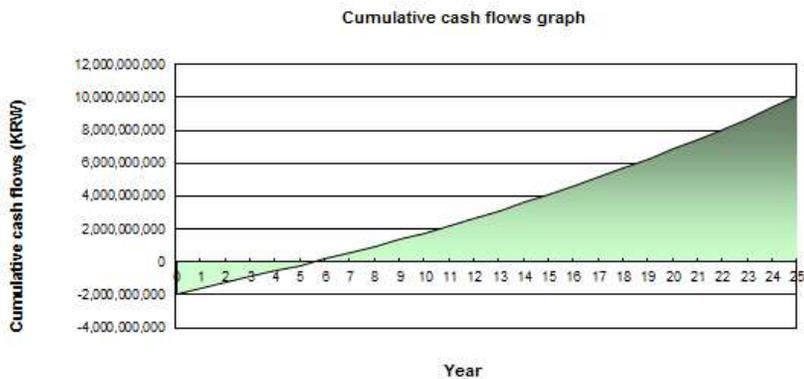
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 33. 삼경광산 (Samkyeong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 혈동 산78

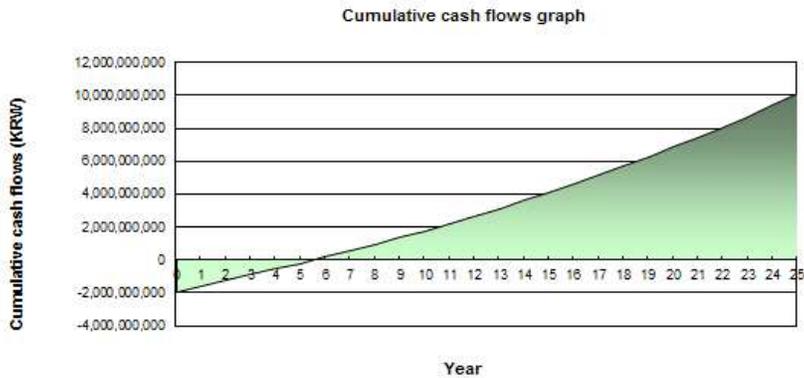
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 34. 한영광산 (Hanyoung) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 소도동 산78-8

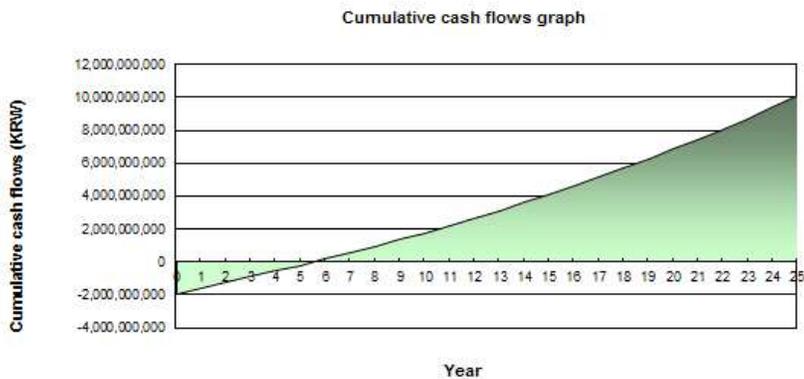
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 35. 함태광산 (Hamtae) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 황지동 산145-4

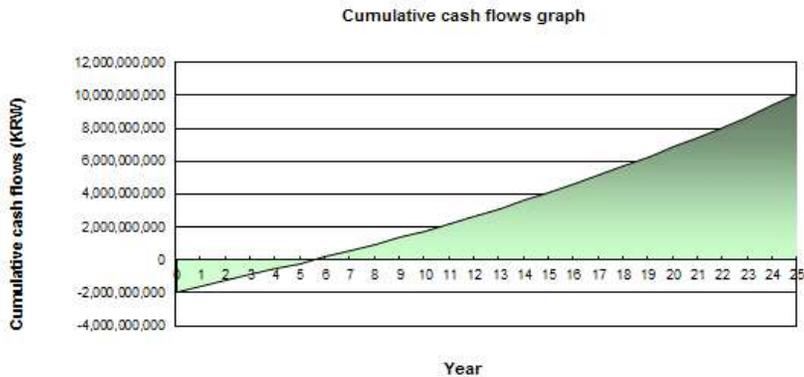
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 36. 보성광산 (Boseong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 화전동 산34-3

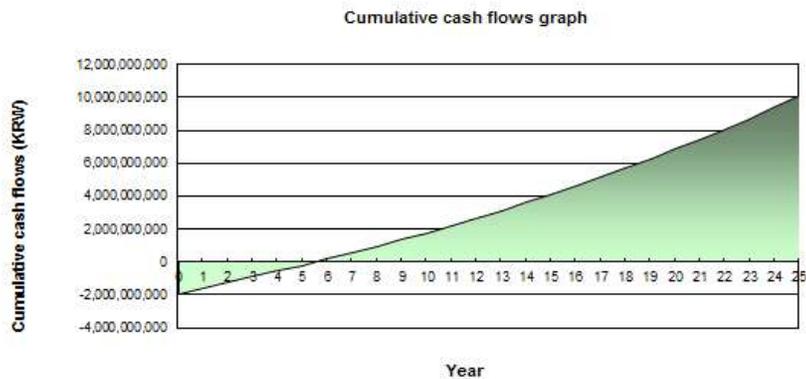
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 37. 황지광산 (Hwangji) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 황지동 337-43

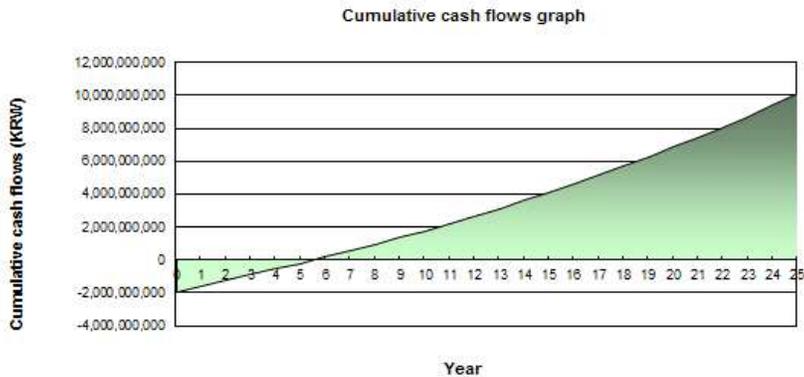
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 38. 유정광산 (Yoojeong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 소도동 95-2

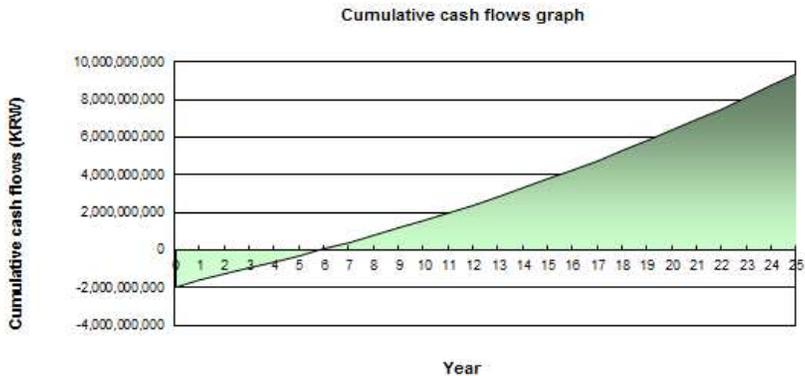
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 39. 통리광산 (Tongri) >

1. 광산특징

- 분류: 폐금속광
- 생산광종: 철
- 주소: 강원도 태백시 통동 산14

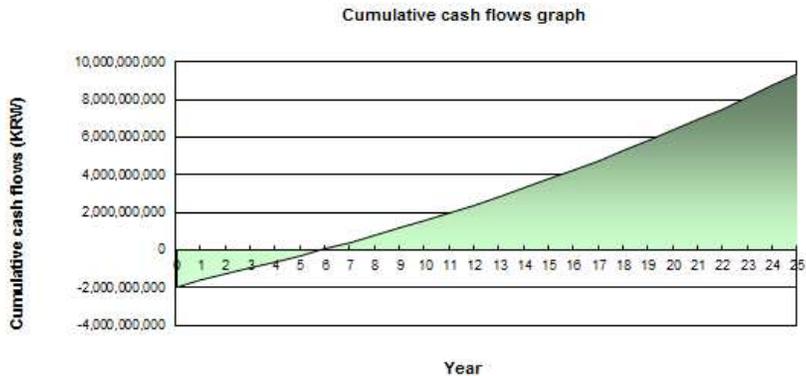
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 40. 보림광산 (Borim) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 통동 산69

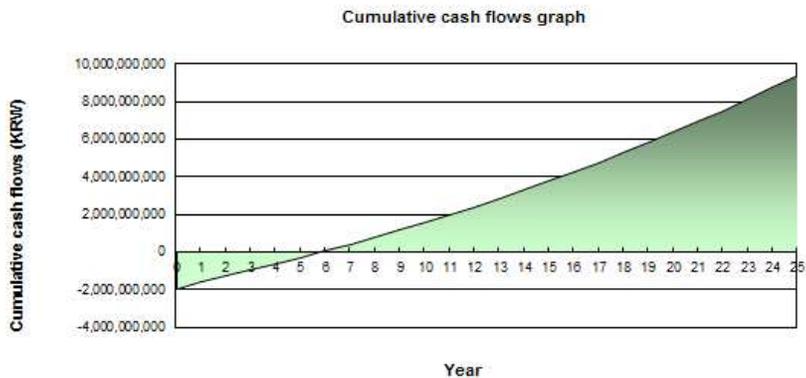
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 41. 원진광산 (Wonjin) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 화전동 산47-61

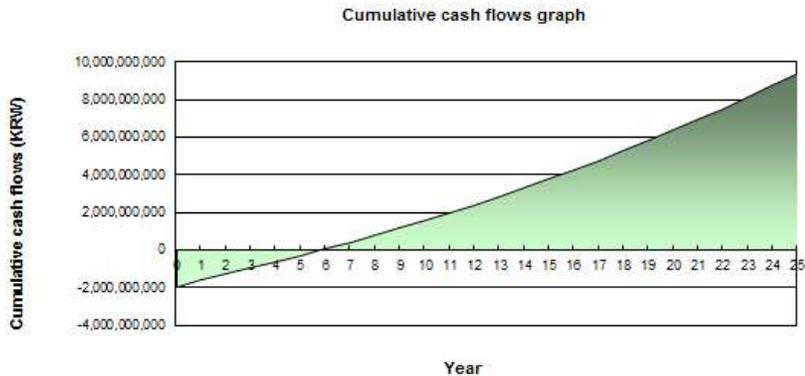
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 42. 송학광산 (Songhak) >

1. 광산특징

- 분류: 폐비금속광
- 생산광종: 석회석
- 주소: 강원도 태백시 백산동 산28

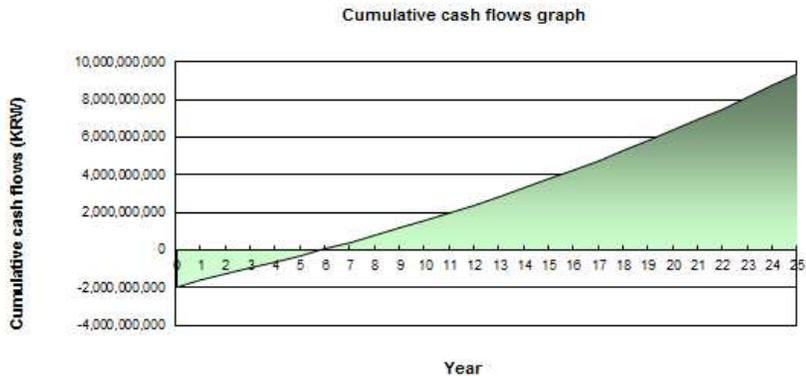
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 43. 협성광산 (Hyeopseong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 황지동 산173-1

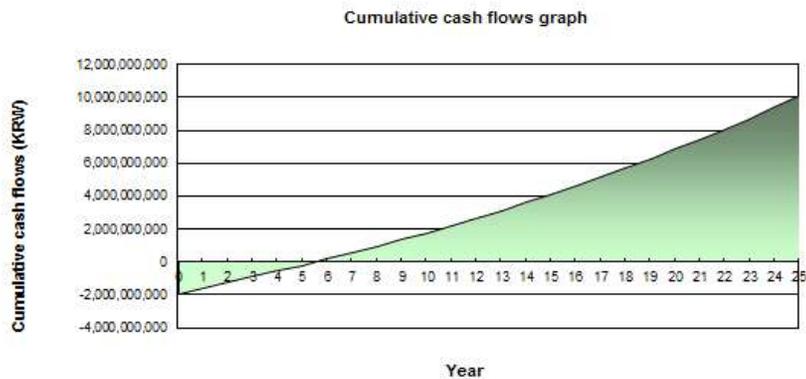
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.41	6.66	90.016	1.50

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1771
	Annual gross energy production(MWh)	1620
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1541
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	721.3
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	335.5
	Pre-tax IRR-assets(%)	19.2
	Equity payback(year)	5.7

4. 누적 현금유동 그래프



< 44. 삼척광산 (Samcheok) >

1. 광산특징

- 분류: 폐비금속광
- 생산광종: 고령토
- 주소: 강원도 삼척시 오분동 231-3

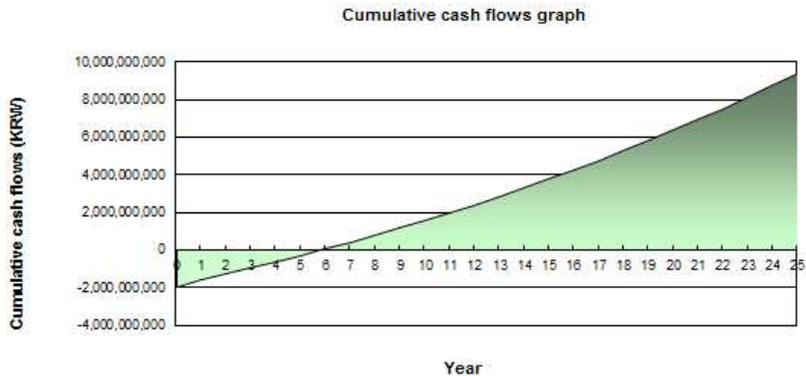
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.13	7.95	92.000	1.37

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1658
	Annual gross energy production(MWh)	1543
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1467
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	685.4
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	318.8
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.3
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 45. 태영광산 (Taeyoung) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 화전동 107-2

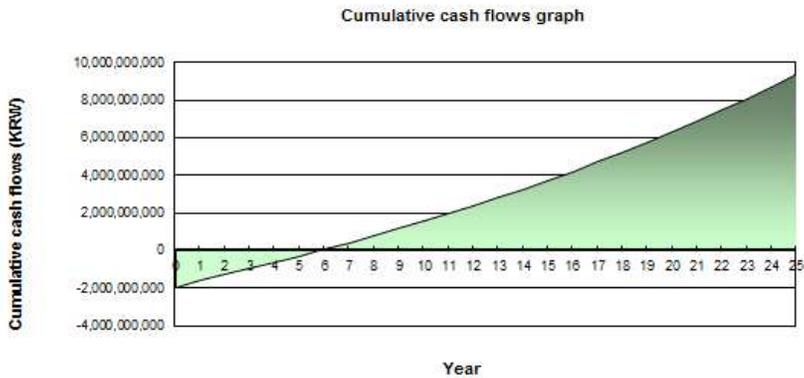
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.11	6.85	90.245	1.55

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1670
	Annual gross energy production(MWh)	1531
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1456
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	680.0
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	316.3
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.1
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 46. 덕천광산 (Deokchun) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 화전동 103-13

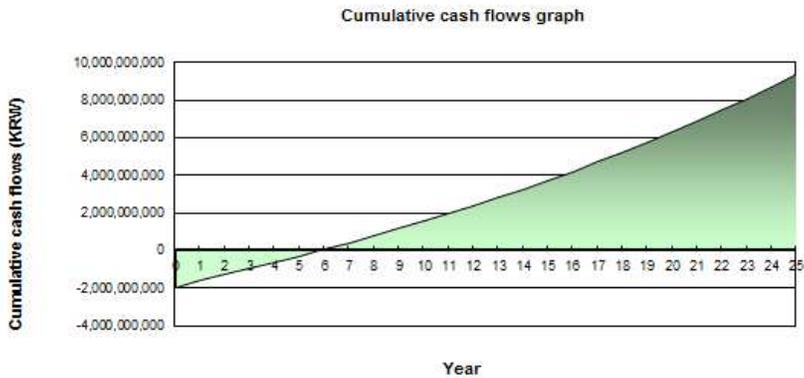
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(°C)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.11	6.85	90.245	1.55

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1670
	Annual gross energy production(MWh)	1531
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1456
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	680.0
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	316.3
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.1
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



< 47. 경북광산 (Gyeongbong) >

1. 광산특징

- 분류: 폐석탄광
- 생산광종: 석탄
- 주소: 강원도 태백시 화전동 산14-3

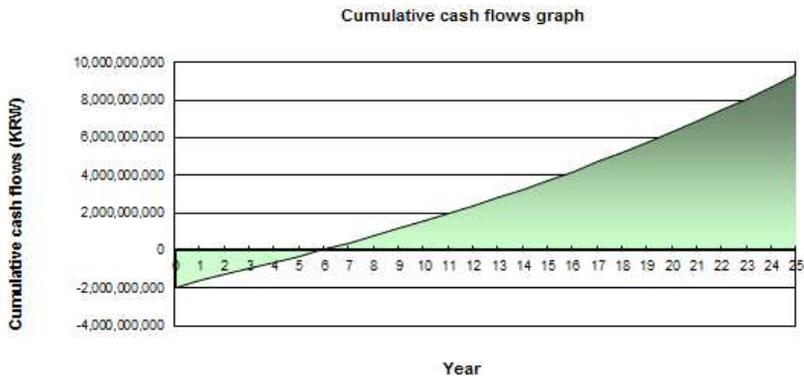
2. 기후자료

Wind speed(m/s)	Temperature(℃)	Atmospheric pressure(kPa)	Shape factor
7.11	6.85	90.245	1.55

3. 상세결과값

Type	Result	
Energy	Annual unadjusted energy production(MWh)	1670
	Annual gross energy production(MWh)	1531
	Annual electricity exported to grid(MWh)	1456
Emission	Annual GHG emission reduction(tCO ₂)	680.0
Finance	Total initial costs(10 ⁶ KRW)	1,910.6
	Total annual costs(10 ⁶ KRW)	34
	Total annual savings and income(10 ⁶ KRW)	316.3
	Pre-tax IRR-assets(%)	18.1
	Equity payback(year)	6.0

4. 누적 현금유동 그래프



감사의 글

석사졸업을 앞두고 기쁨과 아쉬움이 교차합니다. 모자란 제가 본 논문을 완성하기까지는 많은 도움이 있어 가능했으며 이 지면을 빌어 감사한 마음을 전합니다.

여러 면에서 미성숙한 저를 가장 현명한 방법으로 지도해주신 최요순 교수님께 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 항상 염려해주시고 배려해주신 값진 말씀들 가슴에 아로 새기고 교수님의 열정을 본받아 겸손하고 감사할 줄 아는 사람이 되도록 항상 노력하겠습니다.

아울러 제 논문 심사를 위해 바쁘신 와중에도 시간을 기꺼이 할애해주시고 석사생활동안 애정 어린 조언과 격려를 아끼지 않으신 엄정기 교수님과 왕수균 교수님께도 감사드립니다.

또한 같이 생활하면서 의지가 되고 많은 도움을 받았던 실험실 동기인 이현규, 박보영, 송진영, 박세범, 최윤정, 이성재 동기, 후배님들과 대학교에 갓 들어왔을 신입생 때부터 우정 쌓아온 손가희, 최송이, 최혜인, 남우현, 박두호, 송왕수에게 고마움을 전합니다. 항상 격려해주고 자신감을 북돋아준 이민수에게도 고마움을 전합니다.

항상 저의 곁에 온전히 살아계신 하나님아버지께 감사드립니다. 또한, 긍휼한 마음 가질 수 있게 도와주시는 영진교회 목사님과 성도님들께도 감사드립니다.

마지막으로 저의 든든한 동생들 미진이, 길영이와 저를 키워주시고 언제까지나 믿어주신 부모님께 감사하고 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.