

수시  
연구 보고서  
14-07

# 배출권거래제 대응 의사결정 프로그램 개발 연구

KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

안재균

에너지경제연구원  
Korea Energy Economics Institute

# 배출권거래제 대응 의사결정 프로그램 개발 연구

KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

●  
안 재 균

## 참여연구진

---

연구책임자 : 부연구위원 안재균

외부참여자 : STUDIO LGS 이근석



## 제 목 차 례

제1장 서론 .....	1
제2장 배출권거래제 대응 의사결정 프로그램 개요 .....	5
1. 프로그램 소개 .....	5
2. 프로그램 구성 .....	6
제3장 프로그램 채택 모형 .....	11
1. ARIMAX .....	11
2. 몬테카를로 시뮬레이션 .....	15
3. 정수계획법 .....	26
제4장 프로그램 모듈 사용법 .....	35
1. 설정 .....	35
2. 배출량 예측 .....	39
3. 감축사업 경제성 평가 .....	46
4. 장기감축계획 .....	55
5. 감축비용곡선 .....	62
6. 리포트 .....	65
참고문헌 .....	67

〈부록 1〉 프로그램 설치안내 .....	69
------------------------	----

〈부록 2〉 온실가스 배출량 산정방법 .....	73
----------------------------	----

1. 온실가스 배출량 등의 산정방법 .....	73
2. 연료별 국가 고유 발열량 .....	79
3. 연료별 국가 고유 배출계수 .....	80
4. 2006 IPCC 국가 인벤토리 가이드라인 기본 배출계수 .....	81

〈부록 3〉 MATLAB 코드 .....	85
------------------------	----

1. ARIMAX 코드 .....	85
2. 몬테카를로 시뮬레이션 코드 .....	89
3. 정수계획법 코드 .....	104

## 표 차례

<표 2-1> 아이콘 종류 및 기능 .....	7
<표 2-2> 버튼 종류 및 기능 .....	8
<표 3-1> 상관도표 패턴 .....	14
<표 4-1> 시나리오에 따른 입력 에너지가격 변수 .....	37
<부표 2-1> 국가 고유 전력배출계수 .....	77
<부표 2-2> 연료별 국가 고유 발열량 .....	79
<부표 2-3> 연료별 국가 고유 배출계수 .....	80
<부표 2-4> 2006 IPCC 국가 인벤토리 가이드라인 연료별 배출계수 ...	81

## 그림 차례

[그림 2-1] 프로그램 스플래시 초기화면 .....	5
[그림 2-2] 프로그램 화면 구성 .....	6
[그림 2-3] 프로그램 모듈 구성도 .....	9
[그림 3-1] 확률분포(균등, 삼각형, 정규분포) .....	19
[그림 4-1] 설정 모듈 > 배출계수 탭 화면 .....	35
[그림 4-2] 설정 모듈 > 에너지 가격 탭 화면 .....	37
[그림 4-3] 설정 모듈 > 장기감축계획 탭 화면 .....	38
[그림 4-4] 배출량예측 모듈 > Raw Data 탭 .....	39
[그림 4-5] 배출량예측 모듈 > View 탭 .....	41
[그림 4-6] 자기상관(ACF) 및 편자기상관(PACF) 상관도표 .....	42
[그림 4-7] 배출량예측 모듈 > Estimation 탭 .....	43
[그림 4-8] 배출량예측 모듈 > Forecasting 탭 .....	46
[그림 4-9] 감축사업 경제성평가 > 데이터입력 탭 .....	47
[그림 4-10] 감축사업 경제성평가 > 사업효과 탭 .....	49
[그림 4-11] 감축사업 경제성평가 > 현금흐름 탭 .....	50
[그림 4-12] 감축사업 경제성평가 > 경제성평가 탭 .....	51
[그림 4-13] 확률밀도함수 .....	53
[그림 4-14] 누적분포함수 .....	53
[그림 4-15] 감축사업 경제성평가 > 주요변수 탭 .....	54
[그림 4-16] 장기감축계획 > 내부감축사업 탭 .....	56
[그림 4-17] 장기감축계획 > 최적설치시기 탭 .....	58



[그림 4-18] 장기감축계획 > 최적감축포트폴리오 탭 .....	59
[그림 4-19] 장기감축계획 > 내부감축사업효과 탭 .....	60
[그림 4-20] 장기감축계획 > 감축사업현금흐름 탭 .....	61
[그림 4-21] 장기감축계획 > 초기투자비 탭 .....	62
[그림 4-22] 감축비용곡선 > 감축사업리스트 탭 화면 .....	63
[그림 4-23] 감축비용곡선 > 감축비용곡선 탭 화면 .....	64
[그림 4-24] 리포트 > 비용분석 탭 화면 .....	65
[그림 4-25] 리포트 > 배출량분석 탭 화면 .....	66
[부록그림 1-1] 프로그램 설치화면#1 .....	69
[부록그림 1-2] 프로그램 설치화면#2 .....	70
[부록그림 1-3] 프로그램 설치화면#3 .....	70
[부록그림 1-4] 프로그램 설치화면#4 .....	71
[부록그림 1-5] 프로그램 설치화면#5 .....	71
[부록그림 1-6] 프로그램 설치화면#6 .....	72

## 제1장 서론

- 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」에 따라 온실가스 배출권거래시장이 2015년 1월 12일에 개장함.
  - 배출권 거래제하에서는 정부가 전체 배출상한을 정한 후 기업에게 배출권을 할당하면, 해당 기업은 소유한 배출권을 거래를 통해 의무감축량을 달성하는 제도임.
  - 온실가스 감축 비용이 저렴한 기업은 감축기술 설치를 통해 배출량을 절감하고 잉여 배출권을 배출권시장에 판매하여 이득을 얻게 되는 반면에, 감축 비용이 높은 기업은 배출권을 구매하여 감축 의무를 대신하게 되어 사회 전체적으로 온실가스 배출 감축량을 최소비용으로 달성하게 됨(비용효과성 충족).
- 온실가스 배출권거래제는 다음과 같은 편익을 유발할 것으로 평가됨(Ayers and Walter, 1991).
  - 일차적으로, 온실가스 배출량을 감축함으로써 지구온난화에 따른 피해를 예방함 (Primary benefit).
  - 이차적으로, 온실가스 감축기술이 대부분이 에너지효율개선 기술임을 고려할 때, 배출권거래제는 에너지 절감액과 같은 편익을 제공함(Secondary benefit).
  - 부가적으로, 에너지절감 및 신재생에너지 기술혁신 유인을 제공하여 관련 산업의 성장을 촉진시킴.

- 배출권시장에서 합리적인 감축기술투자와 배출권 가격형성을 위해서는 기업체의 과학적 의사결정을 지원하는 프로그램이 요구되며, 이를 개발 및 배포하여 기업체의 배출권제제도에 대한 대응능력의 제고가 필요한 시점임.
- 따라서, 본 연구의 목적은 온실가스 배출권 거래제 대응 의사결정 솔루션을 기업체에 제공함으로써 성공적인 배출권거래제의 도입과 운영을 지원함.
  - 감축기술의 에너지사용량 및 CO<sub>2</sub> 감축 및 에너지비용 절감 효과, 현금흐름 분석, 경제성 평가 기능을 제공함.
  - 의무감축량을 충족하는 최적 포트폴리오(배출권 구매량, 감축기술 설치시기)를 산출하는 장기감축계획 기능을 제공하여 감축기술의 투자를 촉진시켜 정상적인 배출권 가격 형성을 도모함.
  - 시계열 모형을 바탕으로 한 월별 배출량 예측기능 제공으로 시장참여자들의 배출권 수요량 관리를 용이하게 하여, EU-ETS 1기에 발생한 배출권 가격의 급격한 하락 현상을 방지하고 현물시장의 시장효율성을 제고함.<sup>1)</sup>
  - 프로그램 배포로 기업체 내부의 IT 수요를 충족시켜 배출권 거래제에 소요되는 제반비용을 경감시킴.

---

1) Ellerman et al.(2010)은 유럽시장의 초기 탄소배출권가격, EUA(European Union allowance) 급락의 원인인 배출권의 과다 할당은 과거 배출량 데이터의 신빙성 문제와 최초 배출권 할당과정에 기인한 것으로 분석함.

- 본 연구는 배출권거래제 대응 의사결정 프로그램의 특성 및 구성요소를 소개하고(제2장) 프로그램에서 채택한 모형, 시계열 모형 ARIMAX와 몬테카를로 시뮬레이션, 정수계획법에 대해서 설명한 후(제3장), 프로그램 모듈인 설정, 배출량 예측, 감축사업 경제성평가, 장기감축계획, 감축비용곡선, 리포트의 사용법을 제시함(제4장).
- 부가적으로, 본 프로그램의 설치방법은 부록 1에서 설명하고, 온실가스 배출량 산정법과 발열량, 배출계수는 부록 2에서 기술하고, 제3장에서 다룬 모형들의 MATLAB 코드는 부록 3에서 공개함.



## 제2장 배출권거래제 대응 의사결정 프로그램 개요

### 1. 프로그램 소개

- 본 프로그램은 배출권거래제에 필요한 의사결정을 지원을 목적으로 한 Window 기반의 소프트웨어임<sup>2)</sup>.
- 학술적 기반에 입각한 재무 시뮬레이션 모형과 최적화 모형, 계량경제 모형을 채택함으로써 기업체의 과학적인 의사결정을 지원함.
- 프로그램의 명칭은 TLCE(Towards a Low-Carbon Economy)로 그래픽 사용자 인터페이스(Graphical User Interface, GUI)를 지원하며, 사용자가 상용 프로그램인 MATLAB의 설치여부와 상관없이 작동하는 자립형(Standalone) 소프트웨어임.

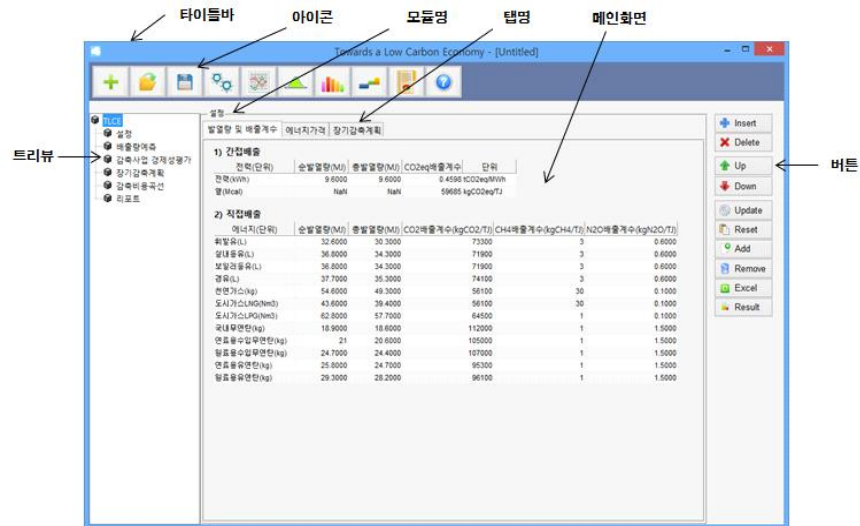
[그림 2-1] 프로그램 스플래시 초기화면



2) 본 프로그램은 MathWorks사에서 개발한 MATLAB을 이용하여 개발됨.

- 사용자의 컴퓨터 권장사항 : 최소 윈도우 XP이상, 하드디스크  
최고 1GB 이상의 여유 공간, 최소 2048MB 이상의 RAM

[그림 2-2] 프로그램 화면 구성



## 2. 프로그램 구성

- 프로그램의 인터페이스 구성은 최상단의 파일명을 나타내는 타이틀(Title bar)과 입력 및 출력변수를 나타내는 메인화면, 상단의 아이콘, 좌측의 트리뷰(Tree view), 우측의 버튼으로 구성됨.

- 3) 트리뷰는 정보를 계층적으로 표시하는 컨트롤러 (Controller)로 각 노드 (Node)는 자식노드를 생성할 수 있으며 화면상에 확장 및 숨길 수 있는 기능을 제공함.

- 아이콘들의 세부 기능은 파일 새로 만들기와 불러오기, 저장하기, 모듈(설정, 배출량예측, 감축사업 경제성평가, 장기 감축계획, 감축비용곡선, 리포트) 바로가기, 매뉴얼보기로 구성되어 있음(<표 2-1> 참조).











〈표 2-1〉 아이콘 종류 및 기능

아이콘	기 능
	시나리오 파일 새로 만들기
	시나리오 파일 불러오기
	시나리오 파일 저장하기
	설정 모듈 바로가기
	배출량예측 모듈 바로가기
	감축사업 경제성평가 모듈 바로가기
	장기감축계획 모듈 바로가기
	감축비용곡선 모듈 바로가기
	리포트 모듈 바로가기
	프로그램 매뉴얼 보기

- 버튼은 메인화면에서 입력 정보를 처리하는 기능을 담당하며 Insert, Delete, Up, Down, Update, Reset, Add, Remove, Excel, Result로 구성되어 있으며 해당 버튼의 기능은 아래 <표 2-2>를 참조



〈표 2-2〉 버튼 종류 및 기능

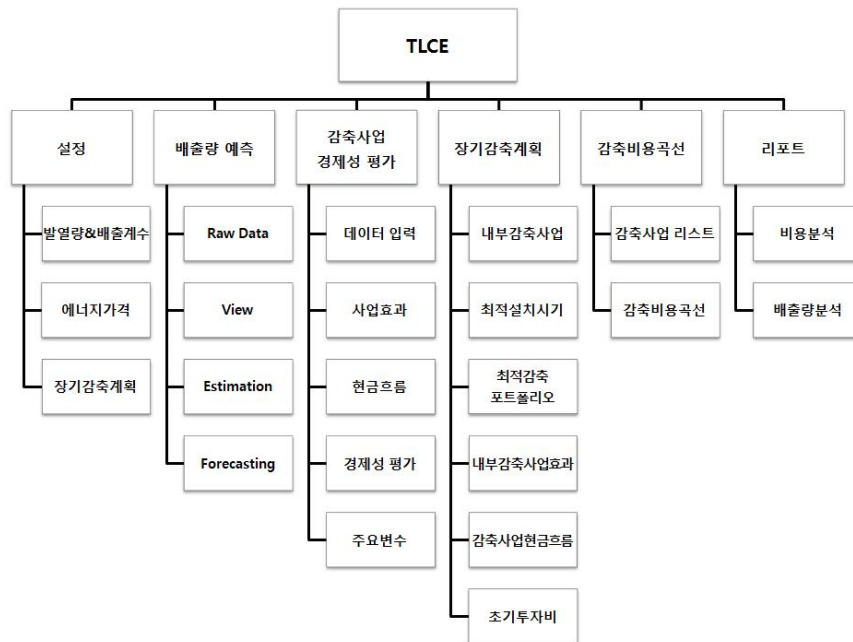
버튼	기 능
 Insert	입력 행을 추가
 Delete	입력 행을 삭제
 Up	해당 행의 위치를 위로 이동
 Down	해당 행의 위치를 아래로 이동
 Update	현재 선택된 자식 노드의 입력정보를 저장
 Reset	현재 탭의 모든 정보를 삭제
 Add	자식노드를 추가
 Remove	자식노드를 삭제
 Excel	모듈 정보를 엑셀로 전환 출력
 Result	모듈의 알고리즘 실행

○ 프로그램은 총 6가지 모듈로 구성되어 있으며, 각기 모듈의 기능은 다음과 같음.

- ① 설정 : 프로그램에서 감축사업 경제성 평가와 장기감축계획 모듈을 수행에 앞서 요구되는 계수와 변수를 입력하는 모듈
- ② 배출량예측 : 월별 데이터의 입력이 요구되며, 시계열모형을 활용하여 배출량을 예측
- ③ 감축사업 경제성 평가 : 감축사업의 경제적 가치를 판별하는 모듈로 불확실성을 고려하는 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 채택

- ④ 장기감축계획 : 수리계획법을 활용하여 의무감축량을 만족하는 연도별 최적 감축 포트폴리오(감축사업, 배출권매매)를 도출
- ⑤ 감축비용곡선 : 감축기술의 단위비용을 기준으로 가장 낮은 감축사업 순으로 정렬하여 감축량을 누적한 것으로 기업의 전체 비용곡선을 도출하는 모듈
- ⑥ 리포트 : 장기감축모듈로부터 도출된 최적해를 비용 및 배출량을 기준으로 정리하여 요약하는 표 및 그래프를 제공

[그림 2-3] 프로그램 모듈 구성도





## 제3장 프로그램 채택 모형

### 1. ARIMAX

#### 가. 시계열 모형 이론

- 시계열(Time series)은 일정 시간 간격마다 기록된 데이터들의 수열이며, 시계열분석(Time series analysis)은 이러한 시계열이 지니는 정보를 계량적으로 체계화하는 것으로, 시계열분석의 장점은 미래의 값을 예측하는 데 있음.
- 시계열 자료는 일정한 평균값을 중심으로 일정한 변동폭을 갖는 모양을 지니며 평균과 분산, 공분산이 시간불변인 유한한 상수를 지닐 때 정상적(Stationary) 시계열 자료라고 하며, 그 외의 자료를 비정상적(Non-stationary)라고 부름.
- 시계열분석의 가장 기본이 되는 모형은 자기회귀이동평균(Autoregressive Moving Average, ARMA) 모형로, 자기회귀모형(Autoregressive model, AR)과 이동평균모형(Moving average model)의 혼합모형이 있음.
  - AR( $p$ ) 모형은 시계열자료  $\{y_t\}$ 에서  $t$ 기의 관측치  $y_t$ 가 과거 관측값  $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}$  들로써 설명된다는 모형으로 다음 식과 같이 표현됨.

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

여기서,  $\alpha_p$ 는 자기상관계수,  $\varepsilon_t$ 는 오차항으로 평균이 0과 분산이  $\sigma^2$ 인 백색잡음과정(White-noise process)<sup>4)</sup>임.

- MA( $q$ ) 모형은 시계열자료  $\{y_t\}$ 에서  $t$ 기의 관측치  $y_t$ 가 과거 오차  $\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \dots, \varepsilon_{t-q}$  들로써 설명된다는 모형으로 다음식과 같이 표현됨.

$$y_t = \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \beta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2)$$

여기서,  $\beta_q$ 는 이동평균계수임.

- ARMA( $p, q$ ) 모형은 시계열자료  $\{y_t\}$ 에서  $t$ 기의 관측치  $y_t$ 가 과거 관측값과 오차들에 의해 설명된다는 모형으로 다음식과 같이 표현됨.

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \beta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \beta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (3)$$

- 비정상적인 경우 차분하거나 log값을 취하여 정상화하는 방법을 ARMA 모형에 추가한 모형이 Autoregressive Integrated Moving Average(ARIMA)로 통상 ARIMA( $p, d, q$ )로 표현하며,  $d$ 의 경우 차분법의 차수를 나타냄.
- 본 프로그램의 배출량예측 모듈에 활용되는 모형은 ARIMAX (Autoregressive Integrated Moving Average with eXtra)로 상기 기술한 ARIMA 모형에 독립변수 (Independent variable)를 추가

---

4) 백색잡음과정은 계열간 서로 상관관계가 없고, 모든 시점에서 동일한 분산값을 갖는 확률과정임.

한 모형으로, 단일의 독립변수  $x_t$ 가 주어졌을 때, ARIMAX(1,0,1)는 다음식과 같음.

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \beta_1 \varepsilon_{t-1} + \gamma_1 x_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

여기서,  $\gamma_1$ 는 독립변수계수임.

- 이러한 ARIMAX의 모형의 장점으로는 ARIMA 모형에 회귀식이 더하여 독립변수가 종속변수에 미치는 영향분석이 가능하며, 적절한 독립변수를 반영함으로써 예측력을 향상시킬 수 있음.

#### 나. ARIMAX 모델링 과정

- ARIMAX 모형을 적용하여 최종 예측까지에는 다음과 같이 식별>추정>진단 과정을 거침.

##### 1) 식별(Identification)

- ARIMAX( $p, d, q$ )에 적합한 차수  $p, d, q$ 를 찾는 단계로, 단위근 검정과 자기상관함수(Autocorrelation Function, ACF)와 부분자기상관함수(Partial Autocorrelation Function, PACF)의 상관도표(Correlogram)가 활용됨.
  - 분석대상 시계열자료가 비정상(Non-stationary) 일 경우, 변수 간에 상관이 없음에도 불구하고 회귀분석 결과,  $R^2$  값 또는 t통계량이 높게 나오는 가성 회귀(Spurious Regression)현상이 발생되므로 회귀분석 전에 시계열자료의 안정성 검정이 요구됨.

- 계열자료의 정상성 여부를 판단하기 위해 단위근 검정을 실시 후, 차분 횟수  $d$ 를 결정함.
- $d$ 차 차분 후 얻어진 정상시계열에 대해 표본의 ACF와 PACF 상관도표와 아래 표에서 요약한 이론적 ACF와 PACF 상관도표의 패턴과 대조하여  $p$ 와  $q$ 를 찾음.

〈표 3-1〉 상관도표 패턴

패턴	ACF	PACF
AR( $p$ )	지수적 감소	$p$ 차 이후 소멸
MA( $q$ )	$q$ 차 이후 소멸	지수적 감소
ARMA	지수적 감소	지수적 감소

출처 : Johnston and Dinardo (1997), p215.

## 2) 추정(Estimation)

- 모형 식별과정을 통해 적합한 모형이 선택되면, 자기회귀계수, 이동평균계수, 독립변수계수의 모수(Parameters)를 추정함.
- MA( $q$ ) 모형의 잔차항의 제곱합은 비선형성을 지니므로 최소자승법 대신에 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation, MLE)를 적용하여 모형의 모수를 추정함.
- 본 프로그램에서의 채택한 최우추정법 알고리즘은 상용프로그램 MATLAB 2014, Econometrics toolbox의 estimate 함수임.

### 3) 진단(Diagnostic checking)

- ARIMAX 모형의 기본 가정인 잔차항의 백색잡음 여부를 판단하는 단계로, 잔차항의 안정성(Stationarity), 등분산성(Homoscedasticity), 독립성(Independence), 정규성(Normality)을 검정하는 단계임.
- 본 프로그램은 잔차항의 단위근 존재여부를 검정하는 Dickey-Fuller 검정법, 잔차항의 이분산 여부를 검정하는 자기상관 이분산 (Autoregressive conditional heteroscedasticity, ARCH) 검정법, 잔차항의 독립성 여부와 정규성을 검정에는 각각 Ljung-Box의 Q 테스트와 Jarque-Bera 정규성 테스트를 활용함.

## 2. 몬테카를로 시뮬레이션

### 가. 몬테카를로 시뮬레이션 개요

- 몬테카를로 시뮬레이션(Monte carlo simulation)은 사업타당성 평가에 있어서 중요한 영향을 미치는 비용 및 수익변수들의 불확실성을 고려하는 확률론 모델링 기법에 활용됨.
- 몬테카를로 시뮬레이션은 사전에 정의한 변수의 확률분포로부터 임의의 표본을 추출하여 계산한 모의실험 결과를 누적하여 확률분포 모형을 추정하는 방법임.
- 몬테카를로 시뮬레이션에서는 컴퓨터 알고리즘의 개발로 난수 생성의 소요시간이 단축되어 확률분포를 가진 변수를 최적화하는 방법에 비해 보다 효과적으로 결과를 도출할 수 있음.
- 몬테카를로 시뮬레이션 수행 절차는 다음과 같음.



- 1단계 : 불확실성을 지닌 변수들 (예를 들어, 미래 에너지가격, 온실가스 감축기술의 에너지 감축량, 비용 등)을 선택
- 2단계 : 상기 선택한 변수들의 확률분포를 설정하여 난수를 발생
- 3단계 : 생성된 변수의 수치를 적용하여 계산식 수행
- 4단계 : 시뮬레이션 횟수, N회 동안 2~3단계를 반복하며 누적된 결과의 통계치를 계산 및 결과해석

#### 나. 확률분포

- 확률변수의 확률분포 선택은 최종 결과의 정확성에 중요한 영향을 미치므로, 확률분포의 특성을 충분히 고려하여 선정하는 것이 타당함.
- 주요 확률분포로는 균등분포 (Uniform distribution), 삼각형분포(Triangular distribution), 정규분포 (Normal distribution), 로그정규분포 (Log-normal distribution), 베타분포 (Beta distribution)이 있음<sup>5)</sup>.

##### 1) 균등분포

- 균등분포는 어느 확률변수가 최소값과 최대값 사이에 동일한 값을 지니는 확률분포이며, 해당 변수의 자료량이 충분치 않고, 변동의 폭이 상대적으로 작다고 보이는 경우 선택이 가능함.

---

5) 배출권거래제 대응 의사결정 프로그램의 초기 버전에는 균등분포, 삼각형분포, 정규분포만이 활용 가능하며, 서로 독립관계임을 가정함.

- 확률변수,  $X$ 의 확률밀도함수  $f(x)$ 가 균등분포를 따를 때, 통상  $X \sim U(\alpha, \beta)$ 로 표기하며, 변수의 구간  $[\alpha, \beta]$ 이 주어졌을 때, 확률분포는 다음과 같음.

$$f(x) = \frac{1}{(\beta - \alpha)}, \quad \alpha \leq x \leq \beta \quad (5)$$

$$f(x) = 0, \quad otherwise \quad (6)$$

- $U(\alpha, \beta)$ 의 분포를 따르는 확률변수  $X$ 의 기댓값과 분산은 각각 식(7), 식(8)과 같음.

$$E(X) = \frac{(\alpha + \beta)}{2} \quad (7)$$

$$Var(X) = \frac{(\beta - \alpha)^2}{12} \quad (8)$$

## 2) 삼각형분포

- 삼각형분포는 최소값 - 최빈값 - 최대값을 연결하는 삼각형 구조를 띤 확률분포로, 가장 많은 빈도를 나타내는 최빈값(Most likely value) 추정치가 정확하고 변동의 폭이 최소값과 최대값 사이일 경우 적용이 가능함.
- 확률변수  $X$ 가 삼각형분포를 따르고 최소값( $\alpha$ ), 최빈값( $\beta$ ), 최대값( $\gamma$ )이 주어졌을 때, 통상  $X \sim Triang(\alpha, \beta, \gamma)$ 로 나타내고 확률밀도함수는 다음과 같이 표기함.

$$\begin{aligned}
f(x) &= \frac{2(x-\alpha)}{(\beta-\alpha)(\gamma-\alpha)}, & \text{if } \alpha \leq x \leq \beta \\
f(x) &= \frac{2(\gamma-x)}{(\gamma-\alpha)(\gamma-\beta)}, & \text{if } \beta \leq x \leq \gamma \\
f(x) &= 0, & \text{otherwise}
\end{aligned} \tag{9}$$

- $Triang(\alpha, \beta, \gamma)$ 의 분포를 따르는 확률변수  $X$ 의 기댓값과 분산은 각각 식(10), 식(11)과 같음.

$$E(X) = \frac{(\alpha + \beta + \gamma)}{3} \tag{10}$$

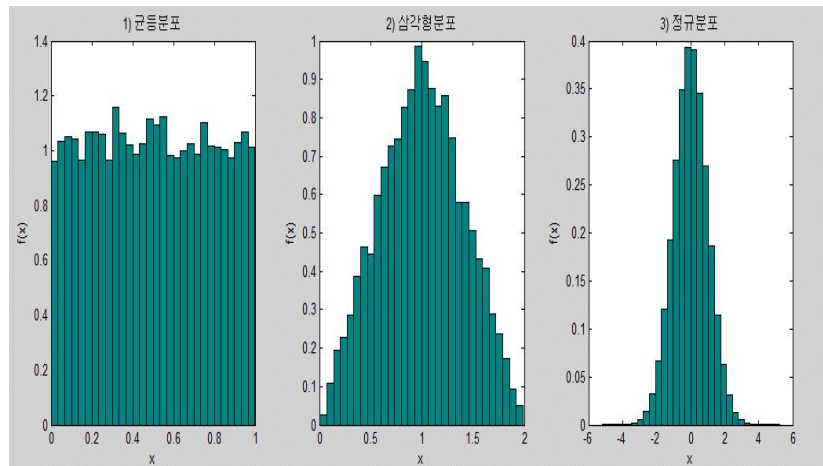
$$Var(X) = \frac{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 - \alpha\beta - \alpha\gamma - \beta\gamma}{18} \tag{11}$$

### 3) 정규분포

- 정규분포는 좌우대칭의 종(bell) 모양을 띤 분포로, 변수의 평균과 표준편차의 정보가 확실할 때 적용함.
- 확률변수  $X$ 가 평균,  $\mu$ 와 표준편차,  $\sigma$ 를 가지는 정규분포를 따를 때, 통상  $X \sim N(\mu, \sigma)$ 로 나타내고, 확률밀도함수는 다음과 같이 표기함.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad -\infty < x < \infty \tag{12}$$

[그림 3-1] 확률분포(균등, 삼각형, 정규분포)



#### 다. 모형설계

○ 본 프로그램의 감축사업 경제성평가 모듈에서는 에너지 가격 및 소비량과 감축설비투자 비용과 기타 수익의 불확실성을 고려하기 위해 상기 기술한 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 적용하여 온실가스 감축사업의 경제성 평가를 수행함.

- 프로그램 사용자는 변수의 확률분포 부과여부를 결정한 후, 변수의 표본 특성에 따라 균등분포, 삼각형분포, 정규분포를 선택함.
- 몬테카를로 시뮬레이션에 의해서 각 변수<sup>6)</sup>의 확률변수로부터 추출한 난수를 생성하여 순현재가치, 내부수익률, 회수기간, 단위비용의 결과를 누적하여 통계치를 계산함.

6) 온실가스 감축기술의 경제성 평가에 요구되는 입력 변수항목은 제4장 프로그램 사용법, 3. 감축사업 경제성평가 참조

- 시뮬레이션을 통해 해당 경제성평가지표의 확률분포를 생성한 후, 95% 신뢰구간은 다음과 같음.

$$\left[ \bar{x} - z_{\alpha/2} (s / \sqrt{n}), \bar{x} + z_{\alpha/2} (s / \sqrt{n}) \right] \quad (13)$$

여기서,  $\bar{x}$ 는 표본평균을,  $s$ 는 표본표준편차를,  $n$ 은 표본의 크기를,  $z_{\alpha/2}$ 는 신뢰수준  $\alpha\%$ 에 따른 신뢰계수를 나타냄 (95% 신뢰구간의 신뢰계수는 1.96으로 주어짐).

- 상기 신뢰구간의 상단(낙관적 시나리오) 및 하단(비관적 시나리오) 값을 포함한 기초 통계량과 확률밀도함수(Probability density function, PDF), 누적분포함수(Cumulative distribution function, CDF), 백분위수(Percentile)를 나타내어 확률변수의 불확실성을 고려하여 경제성을 평가할 수 있도록 함.

○ 경제성 분석에 앞서, 본 프로그램에서 이산화탄소 배출량 및 에너지사용량 범위는 ①고체연료 연소, ②기체연료 연소, ③액체연료 연소, ④이동연소(도로), ⑤외부 전기의 사용, ⑥외부 열(스팀)의 사용에 의한 배출로 한정됨.

- 상기 범위의 에너지 사용량 및 온실가스 배출량 산정 수식은 「공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」의 별표 4, 온실가스 배출량 등의 산정방법을 따름(부록 2에 수록).
- 본 프로그램에서 초기값으로 주어지는 주요 에너지원의 순발열량과 총발열량, CO<sub>2</sub> 배출계수는 「온실가스에너지 목표

관리 운영 등에 관한 지침」의 별표 22, 연료별 국가 고유 발열량 및 배출계수를 따르며, CH<sub>2</sub> 와 N<sub>2</sub>O 배출계수는 별표 20, 2006 IPCC 국가 인벤토리 가이드라인 연료별 배출계수를 따름(부록 2에 수록).

- 몬테카를로 시뮬레이션에 의해 에너지사용량 및 비용/수익 등의 주요변수에 난수를 발생하여 경제성평가 분석법(순현재가치, 내부수익률, 회수기간법, 단위비용)을 시행함.

#### 1) 순현재가치 (Net Present Value, NPV)

- 순현재가치는 사업의 경제적 타당성을 평가하기 위한 대표적인 방법으로, 사업의 할인율<sup>7)</sup>을 결정하여 최초투자시기부터 사업 종료까지의 연도별 순 현금흐름(현금유입－유출)을 현재가치로 환산한 값을 전부 합산한 값임.
- 순현재가치가 0보다 크면 경제적 타당성이 있으며, 0보다 작으면 타당성이 없다고 판단함.
- 순현재가치의 공식은 아래와 같음.

$$NPV = \frac{A_0}{(1+r)^0} + \frac{A_1}{(1+r)^1} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n} = \sum_{n=0}^N \frac{A_n}{(1+r)^n} \quad (14)$$

여기서,

$A_n$  :  $n$ 년 말의 순현금흐름

---

7) 적정할인율은 최저요구수익률, 위험조정수익률, 자본비용으로 해석할 수 있음.

$N$  : 사업 수명

$r$  : 할인율

- 순현재가치의 장점으로는 이윤의 극대화의 재무관리 목표에 가장 적합한 평가 방법으로 투자된 자금보다 많은 수익을 발생시킬 수 있는지를 판단할 수 있는 반면, 단점으로는 할인율을 결정할 때 정확한 자본비용 추정이 어려우며, 회수기간이 긴 사업의 리스크를 파악할 수 없음.

## 2) 내부수익률(Internal Return Rate, IRR)

- 내부수익률법은 사업안의 순현재가치가 0이 되게하는 할인율, 즉 현금흐름유입액의 현가와 현금흐름유출액의 현가를 동일하게 하는 할인율을 산출하여 자본비용 또는 기준수익률과 비교하여 투자가치를 판단하는 방법임.
- 산출한 내부수익률이 자본비용 또는 기준수익률보다 크면 투자 가치가 있으며, 그렇지 않으면 투자 가치가 없다고 판단함.
- 내부수익률은 다음 등식이 성립하는 값임.

$$\sum_{n=0}^N \frac{CI_n}{(1+IRR)^n} = \sum_{n=0}^N \frac{CO_n}{(1+IRR)^n} \quad (15)$$

여기서,

$CI_n$  :  $n$ 년 말의 현금유입

$CO_n$  :  $n$ 년 말의 현금유출

$N$  : 사업 수명

$IRR$  : 내부수익률

- 내부수익률의 장점으로는 NPV와 같이 화폐의 시간적 가치가 반영된 방법이며 할인율 산정이 불필요하여 미래의 불확실한 할인율과 비교가 가능한 반면, 단점으로는 복수의 해가 존재할 수 있으며, 재투자 수익률 문제, 짧은 사업기간의 수익률이 과장되는 문제가 존재함.

### 3) 회수기간법(Payback period, PP)

- 회수기간법은 사업에 투자된 비용과 동일한 누적 수익이 회수되는 데 소요되는 시간을 산출하여 사업의 투자가치를 결정하는 방법임.
- 회수기간법의 결과는 초기의 투자비용을 순 현금흐름으로서 회수할 수 있는 기간으로 누적 현금흐름이 0을 초과하여 그 이후로 이윤이 발생하는 것을 뜻함.
- 회수기간법은 화폐의 시간적 가치를 고려하지 않는 일반회수기간법과 그렇지 않는 할인회수기간법으로 나뉘어짐.
- 일반회수기간법의 공식은 다음과 같음.

$$PP = \frac{I_0}{A} \quad (16)$$



여기서,

$I_0$  : 초기 투자비

$A$  : 연간 순현금흐름

- 회수기간법의 장점으로는 직관적이며 투자회수기간이 장기간 소요되는 리스크가 존재하는 사업을 손쉽게 구별할 수 있는 반면, 단점으로는 수익성을 계산할 수 없으므로 사업기간동안 전체적 수익을 파악할 수 없음.

#### 4) 단위비용(Unit Cost, UC)

- 단위비용(원/tCO<sub>2</sub>)은 한 단위 재화나 서비스를 생산함에 따라 발생하는 비용으로 여기서는 1톤의 이산화탄소를 줄이기 위해 소요되는 비용으로 정의함.

※ 한계감축비용(Marginal Abatement Cost, MAC)은 배출을 한 단위 감축하는데 필요한 비용의 증가분으로 정의되며, 배출원의 총괄적인 감축비용으로부터 도출되는 것으로 개별 감축기술에 이러한 용어를 적용하는 것은 타당하지 않음.

- 단위비용(원/tCO<sub>2</sub>)의 계산과정은 다음과 같음.
  - ① 감축설비의 수명기간 동안 연간 CO<sub>2</sub> 감축량 결정
  - ② 설비의 수명기간 동안 현금흐름 결정(NPV 계산)
  - ③ 주어진 이자율로 프로젝트의 연간등가(Annual Equivalents, AE)<sup>8)</sup>를 계산함. 연간등가는 NPV와 자본회수계수(Carbon

---

8) 연간등가는 이자를 반영하여 매년 지불해야 할 동일한 비용을 산출하는 것으로,

Recovery Factor)를 이용하여 다음과 같이 계산

$$AE = NPV \times \left[ \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \right] \quad (17)$$

여기서,

$N$  : 감축설비의 수명

$r$  : 장기이자율

- ④ 연간등가(AE)를 연간  $CO_2$  감축량으로 나누며, 최종적으로 연간등가를 비용으로 전환하기 위해서 음수를 취함. 즉, 단위비용은 다음과 같이 계산됨.

$$Unit\ Cost = \frac{-AE}{\text{연간 } CO_2 \text{ 감축량}} \quad (18)$$

- ※ 단위비용을 단순히 다음과 같은 식으로 로 계산하는 것은 적합하지 않음.

$$\text{단위비용} \neq \frac{-NPV}{\text{연간 } CO_2 \text{ 감축량} \times \text{수명}} \quad (19)$$

- NPV를 수명으로 나눈 연간비용은 감축설비의 연간 현재가치 비용을 나타내지만, 비용이 발생하는 시기를 반영하지

---

이는 자금열의 순현재가치를 먼저 계산하여 자본회수계수를 곱하면 일시불의 금액을 매년 동일액의 자금열로 전환할 수 있음(박찬석 및 최성호, 2014).

못함. 즉, 이 계산식은 수명기간동안 연간으로 나누어 발생한 비용을 0년도 말에 순간적으로 감축설비를 가동하였다는 의미가 되므로 물리적으로 타당하지 않으며, 비용이 수명에 걸쳐 발생한 시간적 가치를 반영하지 못했기 때문임(박찬석 및 최성호, 2014).

- 간단한 예를 들어, 감축사업이 할인율 10%, 초기투자비용 1,000만원, 연간운영비 100만원, 연간 100tCO<sub>2</sub>eq 감축량, 수명 2년일 경우 단위비용 식 (18)과 잘못된 식 (19)에 의한 결과는 각각 6.76만원/tCO<sub>2</sub>eq과 5.87만원/tCO<sub>2</sub>eq으로 차이가 발생함.
- 이러한 단위비용은 상이한 수명의 사업들과 비교를 용이하게 하며 감축사업의 비용대비 효과를 나타낼 수 있는 장점이 있는 반면, 순현재가치와 내부수익률과 같이 회수기간이 긴 리스크를 판별하지 못하는 단점이 있음.

### 3. 정수계획법

#### 가. 수리계획법 및 선형계획법

##### 1) 수리계획법의 개요

- 수리계획법은 변수들이 부등식 형태로 제약하고 있는 조건하에서 주어진 함수를 최적화(극대화 또는 극소화)시킬 수 있는 변수들의 값을 결정하는 수학적 기법으로 유한개의 실수 변수와 유한개의 제약조건, 그리고 목적함수로 구성됨.

- 수리계획법의 가장 기본적인 형태로 선형형태의 목적함수 및 제약식과 실수해를 갖는 선형계획법(Linear Programming)을 들 수 있으며, 정수해를 보장하는 정수계획법(Integer Programming), 1차식이 아닌 목적함수나 제약조건을 다루는 비선형계획법(Non-linear Programming) 등이 있음.

## 2) 선형계획법의 개요와 형태

- 선형계획법은 의사결정변수와 한 개의 목적함수, 다수의 제약조건으로 구성됨.
- 선형계획법은 다음과 같은 가정을 지님.
  - ① 선형성(Linearity) : 선형성은 의사결정변수의 값이 변할 때, 목적함수와 제약조건식은 일차함수의 관계로 변한다는 것을 의미함.
  - ② 부가성(Additivity) : 목적함수와 제약조건식이 각 항의 합으로만 이루어짐.
  - ③ 가분성(Divisibility) : 모든 의사결정변수의 값이 정수뿐만 아니라 분수가 될 수도 있음.
  - ④ 확실성(Certainty) : 정태상황을 가정하여 목적함수 및 제약식에 모든 계수는 상수로 매개변수의 값이 사전에 확실히 주어짐.
- 선형계획법의 목적함수는 극대화 문제와 극소화 문제로 구분되며,  $m$ 개의 제약조건이 있는  $n$ 개의 의사결정변수가 있는 극대화 문제)를 다음과 같이 나타낼 수 있음.

---

9) 목적함수가 극소화의 경우, 제약식의 부등호 방향은  $\geq$  임.

$$\text{극대화: } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

$$\begin{aligned} \text{제 약: } & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ & \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ & a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m \\ & x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \cdots, n) \end{aligned} \quad (20)$$

- 여기서  $z$ 는 목적함수의 값을 나타내며, 목적함수의 계수,  $c_j (j = 1, 2, \cdots, n)$ 는 기여계수로 불리며,  $x_j (j = 1, 2, \cdots, n)$ 는 의사결정변수를 나타냄.
  - 제약식에 우변상수인  $b_j (j = 1, 2, \cdots, m)$ 은 제약량 또는 극소화의 경우, 필요량을 뜻하며, 의사결정변수에 계수,  $a_{ij}$ 는 기술계수로 불림.
  - $a_{ij}$ 에 하첨자  $i, j$ 는 각각 행과 열의 위치를 나타내는데,  $m$ 개의 제약식과  $n$ 개의 의사결정변수의 구조에서 계수  $a_{ij}$ 는  $m \times n$  차원의 행렬로 나타낼 수 있음.
  - 비음조건을 설정하여 의사결정변수  $x_j$ 는 음의 값을 허용하지 않도록 함.
- 행렬을 이용하여 선형계획법을 보다 간결하게 표기할 수 있음.
- 우선 다음과 같은 행렬을 정의함.

$$c \equiv \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad x \equiv \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad A \equiv \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad b \equiv \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$$

- 위의 정의된 행렬을 이용, 선형계획법을 다음과 같이 표시함.

$$\text{극대화: } z = c'x$$

$$\text{제 약: } Ax \leq b^{10)} \quad (21)$$

$$x \geq 0$$

- 선형계획법의 해법으로는 다수의 최적 의사결정변수를 효과적으로 도출할 수 있는 심플렉스법(Simplex method)이 보편적으로 사용됨.
- 심플렉스법은 Dantzig(1951)에 의해 개발된 것으로 역행렬을 구하는 과정에 기초를 둔. 이 해법은 실행가능영역의 한 극점에서 다른 극점으로 이동하며 순차적으로 비교하여 최적 해를 결정하는 방법임.

#### 나. 정수계획법

- 정수계획모형은 단일 목적함수와 다수 개의 제약조건으로 구성된 점에서 상기 기술한 선형계획법과 동일하나, 실수값을 가질 수 있다는 가분성의 가정이 요구되지 않아, 하나 이상의 의사

---

10) 제약식에서 부등호는 원소간의 부등호로 해석해야 함.

결정변수가 반드시 정수해를 보장하는 것이 차이점임.

- 정수계획의 모형으로는 다음과 같이 형태로 분류됨.
  - ① 순수 정수계획법(Pure integer programming) : 의사결정변수가 모두 정수해인 경우.
  - ② 혼합 정수계획법(Mixed integer programming) : 의사결정변수가 실수와 정수해인 혼재된 경우
  - ③ 0-1 정수계획법(Zero-one integer programming) : 의사결정변수가 0 혹은 1의 정수해인 경우
- 정수계획법의 해법으로 Gomory(1958)가 개발한 절면법(Cutting plane method)과 Land와 Doig(1960)의 분단탐색법 (Branch and bound method)이 있음.
  - 절면법은 우선 정수 제약조건을 제외하여 선형계획법으로 전환 후 심플렉스법을 적용하여 최적해를 구함.
  - 분단탐색법은 다른 해법에 보다 효과적인 방법으로 평가되고 있는 해법으로, 해의 집합을 열거하여 가능성이 없는 집합을 제외시키며 가능해 영역을 계속적으로 분할해 나가며 최적해를 탐색하는 방법임.

#### 다. 모형설계

- 장기감축계획 모듈에서는 상기 기술한 정수계획법을 활용하여 계획기간에 의무감축량을 최소비용으로 해결하는 연도별 배출권 구매량과 온실가스 감축기술투자의 최적해를 도출함.

- 의사결정변수는 감축기술투자 여부,  $U$ 와 배출권구매량,  $N$ 이며 목적함수는 아래와 같은 극소화 함수로 주어짐.

$$MIN.\pi = \sum_{t=t_i}^T \frac{1}{(1+r)^t} \times (anncost_t^i \times U_t^i + p_t \times N_t) \quad (22)$$

여기서,

$t_i$  : 초기년도

$T$  : 최종년도

$r$  : 장기이자율

$i$  : 감축설비

$anncost$  : 감축설비 연가등가비용

$U$  : 감축설비 설치개수  $\in \{0,1\}$

$p$  : 배출권거래가격 (원/tCO<sub>2</sub>)

$N$  : 배출권구매량  $\in \{-\infty, \infty\}$

- 목적함수는 식 (22)는 계획기간 감축설비 투자비와 수입(운영비-수익)과 배출권구매비용을 합한 총비용의 현가를 극소화하는 것임.
- 감축설비  $i$ 의 투자여부의 결정변수,  $U_t^i$ 는 0과 1의 해를 갖는 것으로 1의 경우  $t$ 기의 투자를, 0의 경우 투자선정대상에 제외됨을 나타냄.
- 감축설비 연간등가비용,  $anncost$ 는 이자를 반영하여 감축설비의 수명기간 동안 매년 동일하게 지불해야 할 비용으로 아래와 같이 구성됨.



$$anncost = \text{자본회수비용} + \text{운영비} - \text{에너지절감액} \quad (23)$$

- 식(24)에 자본회수비용(Capital Recovery Cost, CR)은 다음과 같이 계산됨<sup>11)</sup>.

$$CR = (i - s) \times \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} + rs \quad (24)$$

여기서,  $i$  : 초기투자비,  $s$  : 잔존가치,  $r$  : 이자율,  $N$  : 수명

- 배출권 구매량 결정변수  $N_t$ 는  $t$ 기의 배출권거래시장에서 총 순구매량(구매량-판매량)으로 하한을 음수로 설정함으로써 배출권 예상 판매량 산출이 가능함. 즉,  $N$ 이 음수일 경우 배출권 판매량을 나타냄.
  - 배출권 가격  $p_t$ 는  $t$ 기의 배출권거래시장에서 결정될 것으로 예측되는 가격(원/tCO<sub>2</sub>)임.
- 제약조건으로는 아래와 같이 의무감축량과 감축기술의 초기 투자비 예산제약, 신기술 가용시기를 설정함으로써 기업체의 자본비용 지출 및 감축 기술의 현실성을 고려함.

$$\lambda_i \sum_{t=ti=1}^T \sum_{ii=1}^N U_t^i + N_t \geq l_t \quad (25)$$

$$\sum_{i=1}^N inv_t^i \times U_t^i \leq \max i_t \quad (26)$$

$$\sum_{t=ti}^T U_t^i \leq 1 \quad (27)$$

---

11) 자세한 공식유도는 박찬석 및 최성호(2014) p223를 참조

$$\sum_{t=ti}^{ta_i-1} U_t^i \leq 0 \quad (28)$$

여기서,

$\lambda$  :  $CO_2$  감축량

$l$  : 의무감축량

$inv$  : 초기투자비

$max_i$  : 총 초기투자비 예산제약

$ta$  : 기술가용시기

- 식(25)는 의무감축량 제약식으로, 감축설비 투자로 인한 총 감축량과 배출권구매량의 합은 의무감축량보다 이상이어야 함.
- 식(26)은 감축설비투자 예산 제약식으로,  $t$ 기의 감축설비의 총 투자비는 예산  $max_i$ 를 초과할 수 없음; 다수의 감축설비가 경제성이 양호하여 NPV가 양일 경우, 초기에 모두 투자되어 초기년도에 총 초기 투자비의 과다한 지출이 발생하므로, 감축설비의 투자 소요를 매년 적정수준으로 분배하기 위해서 상기 예산 제약식을 설정함.
- 식(27)은 투자량 제약식으로, 감축설비  $i$ 는 계획기간 중복 투자될 수 없음.
- 식(28)은 기술가용시기 제약식으로, 감축설비  $i$ 가 미래시점  $t$ 기 이전까지는 상용화가 되지 않는 신기술로  $t$ 기에 비로소 투자 될 수 있음.

- 상기모형의 기본적인 예를 들어, 2기간에 2개의 감축기술 있다고 가정하면 행렬 표기는 아래와 같음.

$$\text{극소화: } z = c'x \quad (29)$$

$$\text{제 약: } Ax \geq b$$

$$lb \leq x \leq up^{12)}$$

여기서,

$lb$  : 의사결정변수 하한

$up$  : 의사결정변수 상한

4개의 행렬은 다음과 같이 정의됨.

$$c \equiv \begin{bmatrix} anncost_1^1 \\ anncost_2^1 \\ anncost_1^2 \\ anncost_2^2 \\ p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} \quad x \equiv \begin{bmatrix} U_1^1 \\ U_2^1 \\ U_2^1 \\ U_2^2 \\ N_2^1 \\ N_2^2 \end{bmatrix} \quad A \equiv \begin{bmatrix} \lambda_1^1 & 0 & \lambda_1^2 & 0 & 1 & 0 \\ \lambda_1^1 & \lambda_2^1 & \lambda_1^2 & \lambda_2^2 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ i_1^1 & 0 & i_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & i_2^1 & 0 & i_2^2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad b \equiv \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ -1 \\ -1 \\ \max i_1 \\ \max i_2 \end{bmatrix}$$

- 상용프로그램 MATLAB 2014의 최적화 라이브러리, Optimization toolbox에 포함되어 있는 정수계획법, intlinprog 함수를 이용하여 본 모형의 해를 도출하였음.

---

12) 행렬 차원의 제한으로 기술가용시기 제약식, 식(28)은 상하한 설정으로 모델링함.

## 제4장 프로그램 모듈 사용법

### 1. 설정

- 설정모듈은 감축사업 경제성평가와 장기감축계획 모듈에 한 시나리오에서 공통적으로 필요한 입력변수를 입력하는 모듈임.
- 본 모듈은 발열량 및 배출계수, 에너지가격, 장기감축계획 탭으로 이루어짐.

#### 가. 발열량 및 배출계수

[그림 4-1] 설정 모듈 > 배출계수 탭 화면

Towards a Low Carbon Economy - [Untitled]

- **LCBE**
- 설정
- 배출량예측
- 감축사업 경제성평가
- 장기감축계획
- 감축비추천권
- 리포트

발열

발열량 및 배출계수    에너지가격    장기감축계획

1) 간접배출

전력(단위)	순발열량(MJ)	총발열량(MJ)	CO2eq배출계수	단위
전력(kWh)	9.6000	9.6000	0.4598 tCO2eq/MWh	
열(Mcal)	NaH	NaH	59685 kgCO2eq/TJ	

2) 직접배출

에너지(단위)	순발열량(MJ)	총발열량(MJ)	CO2배출계수(kgCO2/TJ)	CH4배출계수(kgCH4/TJ)	N2O배출계수(kgN2O/TJ)
휘발유(L)	32.6000	30.3000	73300	3	0.6000
신내동유(L)	36.8000	34.3000	71900	3	0.6000
보일러용유(L)	36.8000	34.3000	71900	3	0.6000
경유(L)	37.7000	35.3000	74100	3	0.6000
천연가스(kg)	34.6000	49.2000	56100	30	0.1000
도시가스LNG(m3)	43.8000	39.4000	56100	30	0.1000
도시가스LPG(m3)	62.8000	57.7000	64500	1	0.1000
국내무연탄(kg)	18.9000	18.6000	112000	1	1.5000
연료중수입무연탄(kg)	21	20.6000	105000	1	1.5000
원료중수입무연탄(kg)	24.7000	24.4000	107000	1	1.5000
연료중유연탄(kg)	25.8000	24.7000	95300	1	1.5000
원료중유연탄(kg)	29.3000	28.2000	96100	1	1.5000

- Insert
- Delete
- Up
- Down
- Update
- Reset
- Add
- Remove
- Excel
- Result

- 발열량 및 배출계수 탭은 감축사업 경제성평가 모듈에서 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량 산출에 필요한 발열량과 배출계수의 입력을 필요로 함.
- 연료별 순발열량과 총발열량, 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 배출계수의 초기 값들이 주어지며, 추후 변동사항 발생 시 사용자가 수치를 수정할 수 있고 에너지원을 추가하여 해당 수치를 입력할 수 있음.
  - CO<sub>2</sub> 배출계수는 「온실가스에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」 <별표-22> 연료별 국가 고유 발열량 및 배출계수를 따르며, CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O 배출계수는 <별표-20> 2006 IPCC 국가 인벤토리 가이드라인과 연료별 배출계수를 따름.
  - 전력배출계수는 ‘11년 전력부문(사용단) 온실가스 배출계수, 0.4598tCO<sub>2</sub>eq/MWh를<sup>13)</sup>, 열배출계수는 ‘13년 열전용과 열병합 평균값인 59,685kgCO<sub>2</sub>eq/TJ를 제시함<sup>14)</sup>.

#### 나. 에너지 가격

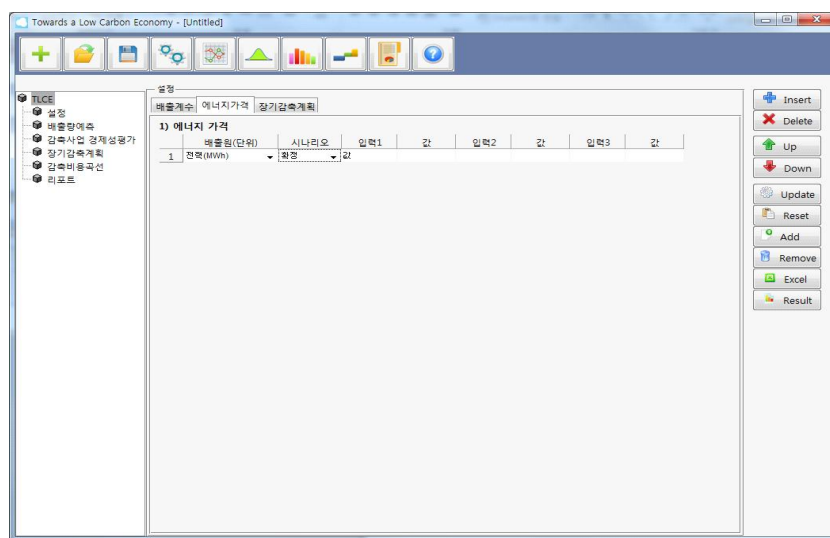
- 에너지 가격 탭에서는 감축사업 경제성평가 모듈에서 에너지 비용을 계산하기 위해 해당 에너지원의 가격을 입력해야 함.
- 입력 변수는 배출원(단위), 시나리오, 입력으로 구성됨.
  - ① 배출원(단위) : 배출계수에 입력한 배출원을 선택
  - ② 시나리오 : 에너지 가격의 불확실성 여부를 판단하여 확정 또는 정규분포, 균등분포, 삼각형 분포<sup>15)</sup>를 선택함.

13) 전력거래소 (<http://www.kpx.or.kr/KOREAN/servlet/MICContrloer>)

14) 온실가스정보센터 (<http://www.gir.go.kr/home/index.do?menuId=36>)

- ③ 입력 : 시나리오에 선택한 확정 및 확률분포에 따라 생성된 입력변수명이 생성되어 관련 수치를 입력함. 시나리오에 따른 입력변수는 아래 <표 4-1>과 같음.

[그림 4-2] 설정 모듈 > 에너지 가격 탭 화면



<표 4-1> 시나리오에 따른 입력 에너지가격 변수

시나리오	입력1	입력2	입력3
확정	확정값	-	-
정규분포	평균	표준편차	-
균등분포	최소	최대	-
삼각형분포	최소	최빈	최대

15) 확률분포의 특성에 대한 설명은 제3장, 2. 몬테카를로 시뮬레이션 참조

## 다. 장기감축계획

- 장기감축계획 탭은 장기감축계획 모듈에 필요한 계획기간과 장기이자율, 의무감축량, 배출권가격, 초기투자비 예산제약의 입력이 요구됨.
- ① 계획기간 : 장기감축계획의 시작년도와 총 계획기간(년)을 입력
- ② 이자율 : 총 계획기간에 할인율을 결정
- ③ 의무감축량 : 의무감축량은 BAU(Business As usual) 배출량
  - 무상배분할당량 - 기타(조기감축 인정분 등) 으로 산출됨.

[그림 4-3] 설정 모듈 > 장기감축계획 탭 화면

The screenshot shows the 'Towards a Low Carbon Economy' software interface. The 'Long-term Reduction Plan' tab is active. It contains the following sections:

- 1) 계획기간 (Planning Period):** Start year (시작년도) set to 2016, Total planning period (계획기간) set to 10.
- 2) 장기이자율 (Long-term Interest Rate):** Set to 0.05.
- 3) 의무감축량 (Required Reduction):** A table with columns for years 2016-2023. Rows include BAU (Business As Usual), 무상배분할당량 (Free allocation), and 기타 (Others). The '기타' row is currently empty.
- 4) 배출권가격 (Carbon Price):** A table with columns for years 2016-2023. The '배출권가격(원/CO2eq)' row is currently empty.
- 5) 초기투자비 예산제약 (Initial Investment Budget Constraint):** A table with columns for years 2016-2023. The '초기투자비(백만원)' row is currently empty.

On the right side of the interface, there are buttons for Insert, Delete, Up, Down, Update, Reset, Add, Remove, Excel, and Result.

- ④ 배출권가격 : 배출권거래시장에서의 계획기간 간 연평균 배출권가격을 설정함.
- ⑤ 초기투자비 예산제약 : 매년 감축사업에 총 소요되는 초기투자비의 상한액을 결정

## 2. 배출량 예측

- 배출량 예측 모듈은 시계열 (Time-series) 모형인 ARIMAX (Autoregressive Integrated Moving Average with eXtra) 모형을 채택, 월 배출량 예측에 활용하여 보다 효율적인 배출권 거래를 도모하는데 목적을 둬.
- 배출량 예측 모듈은 Raw Data, View, Estimation, Forecasting 탭으로 구성됨.

### 가. Raw Data

[그림 4-4] 배출량예측 모듈 > Raw Data 탭

	date	emission	hdd	cdd	output
1	2007-01-01	5.1550e+03	545.8000	0	464495
2	2007-02-01	4637	393.2000	0	431957
3	2007-03-01	4788	370.3000	0	544819
4	2007-04-01	4279	199.2000	0	5.3563e+05
5	2007-05-01	4194	30.1000	33.1000	506654
6	2007-06-01	4261	0	155.5000	529703
7	2007-07-01	4293	0	191.2000	525275
8	2007-08-01	4313	0	262.2000	509518
9	2007-09-01	3864	1.1000	107.4000	516626
10	2007-10-01	3942	102.1000	12	611607
11	2007-11-01	3796	337.8000	0	5.2008e+05
12	2007-12-01	3583	503.8000	0	326281
13	2008-01-01	4696	610.2000	0	462947
14	2008-02-01	4124	556.4000	0	369620
15	2008-03-01	4097	330.2000	0	438824
16	2008-04-01	3658	124.3000	7.8000	463799
17	2008-05-01	3481	42.2000	31.5000	466932
18	2008-06-01	3303	5.5000	111.1000	439536
19	2008-07-01	4355	0	220.7000	540956
20	2008-08-01	4095	0.1000	226.6000	476834
21	2008-09-01	3488	11.9000	133.3000	5.0367e+05
22	2008-10-01	2997	72	14.6000	389853
23	2008-11-01	3090	311.3000	0	352640
24	2008-12-01	3325	524.9000	0	270225
25	2009-01-01	3472	618.9000	0	288881
26	2009-02-01	3252	421.7000	0	377040

- Raw Data 탭은 추정 및 예측을 수행하기 위한 시계열 데이터를 입력하는 탭임.



- 입력 테이블의 첫 행은 날짜, 배출량, 설명변수들의 제목이 표기되며, 해당 변수의 월 자료가 순차적으로 입력되어야 함.
- 우측 상단의 Add Column 버튼은 설명변수를 추가하는 기능으로 버튼을 클릭하면 신규 설명변수 이름을 입력하면 열이 추가됨.
- Del. Column 버튼은 설명변수 열을 삭제하는 기능임.
- Excel Load 버튼은 시계열 자료가 엑셀파일 형식으로 저장된 경우, 자료를 프로그램으로 불러오는 기능을 담당함.
- 독립변수로 계절효과를 반영할 수 있는 냉난방도일<sup>16)</sup>을 사용할 것을 권장함.

#### 나. View

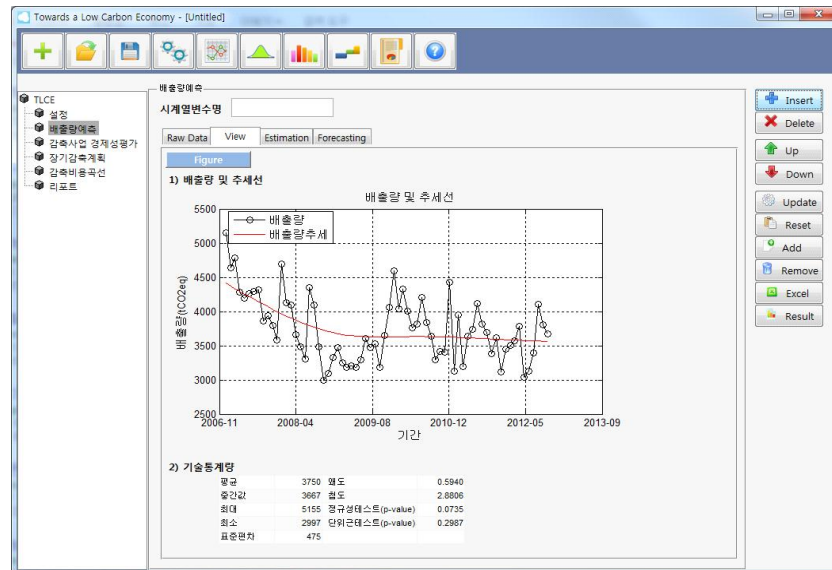
- View 탭은 Raw Data에서 입력한 월별 배출량 자료의 그래프 출력과 기술통계량을 분석을 담당함.
- 배출량 및 추세선 그래프는 월별 배출량과 Hodrick-Prescott (HP) 필터<sup>17)</sup>를 적용하여 추출한 월별 추세선을 나타냄.
- 기술통계량 (Descriptive statistics) 테이블은 데이터의 특성을

- 
- 16) · 냉방도일은 일년 중 일평균기온이 기준온도 18°C 미만일 경우, 일평균기온과 기준온도의 차를 일정기간 적산시킨 값임  
 · 난방도일은 일년 중 일평균기온이 기준온도 24°C 이상일 경우, 일평균기온과 기준온도의 차를 일정기간 적산시킨 값임.  
 · 국가에너지통계종합정보시스템([www.kses.net](http://www.kses.net))에서 에너지통계월보>주요경제사회지표>냉난방도일 순으로 자료 다운로드 가능
- 17) 본 프로그램에서 채택한 HP필터의  $\lambda$  상수는 월별 데이터를 감안하여 Hodrick and Prescott(1984)의 제안대로 14,400로 고정하였음. HP필터 추세를 구하는 자세한 과정은 김명직 및 장국현(2002)를 참고

나타내는 통계치로 평균과 중간값, 최대, 최소, 표준편차, 왜도 (Skewness), 첨도(Kurtosis), 정규성 테스트(Jarque-Bera)로 구성됨.

- 왜도는 확률분포 모양의 비대칭을 판단함 (왜도값=0 : 정규 분포, 왜도값<0 : 좌측으로 치우침, 왜도값>0 : 우측으로 치우침)
- 첨도는 정규보다 더 중앙에 집중하는지 여부 판단(첨도값=3 : 정규분포, 첨도값<3 : 평평함, 첨도값>0 : 뾰족함)
- 정규성 테스트에서 귀무가설은 “실증분포가 정규분포 한다”이며, 통계량은  $p$  값으로 통상 0.05(5% 유의수준) 보다 크면 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로, “실증분포는 정규분포 한다”라고 해석함.

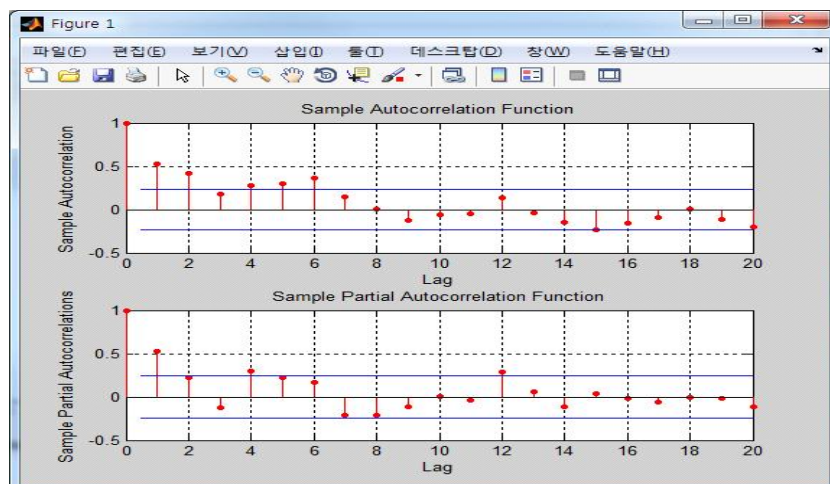
[그림 4-5] 배출량예측 모듈 > View 탭



#### 다. Estimation

- Estimation 탭은 ARIMAX 모형의 식별(Identification), 추정(Estimation), 진단(Diagnostic Checking)을 수행함.
- 우측 상단의 ACF&PACF 버튼은 자기상관함수(Autocorrelation function, ACF)와 편자기상관함수(Partial autocorrelation function, PACF)의 상관도표(Correlogram)을 출력함<sup>18)</sup>.

[그림 4-6] 자기상관(ACF) 및 편자기상관(PACF) 상관도표



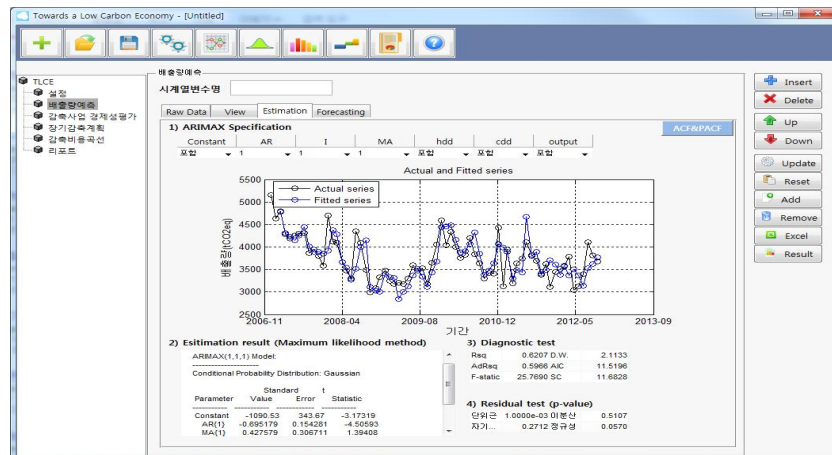
##### 1) ARIMAX Specification

- ACF 또는 PACF를 통해 모형을 식별한 후, 상수 및 설명변수의 포함여부와 ARIMA의 차수를 결정함.

18) 자기상관 및 편자기상관의 이론적 상관도표 형태는 제2장, 1. ARIMAX, <표-3>를 참조

- ① Constant : ARIMAX( $p, d, q$ ) 모형식의 상수 포함 여부를 결정  
(‘포함’, ‘미포함’ 선택)
- ② AR( $p$ ) :  $p$ 차 자기회귀(Autoregressive, AR) 과정을 선택
- ③ I( $d$ ) : 차분 횟수 ( $d$ )를 선택
- ④ MA( $q$ ) :  $q$ 차 (Moving average, MA) 과정을 선택
- ⑤ 설명변수 이름 : 해당 설명변수의 포함 여부를 결정(‘포함’, ‘미포함’ 선택)

[그림 4-7] 배출량예측 모듈 > Estimation 탭



## 2) Estimation result (Maximum likelihood method)

- 모형 선택 후, 최대우도법(Maximum likelihood method)을 통해, AR 및 MA항과 설명변수의 모수(Parameter)를 추정함.
- 출력 창에 표시되는 Parameter, Value, Error, Statistic는 각각 모수이름, 추정치, 표준오차(Standard error), t-통계량을 나타냄.

- 설명변수의 모수이름은 입력한 순서대로 Beta1, Beta2, ..., BetaN으로 표시됨.

### 3) Diagnostic test

- 선택한 모형의 적합성을 진단하는 것으로, 다음과 같은 통계치를 제시함.
  - ① Rsq : 설명변수의 종속변수에 대한 설명력을 측정하는 결정계수,  $R^2$ 로 0과 1사이에 값을 지님.
  - ② AdRsq : 조정 결정계수,  $\bar{R}^2$ 로 설명변수가 늘수록 결정계수가 증가하는 문제를 보완함( $R^2$ 로 마찬가지로 0과 1사이에 값을 지님).
  - ③ F-static : F 통계량으로 모든 설명변수들이 종속변수에 대해 유의하지 않는 귀무가설을 검증함(F 통계치가 임계값 이상이면 귀무가설 기각).
  - ④ D.W. : 더빈왓슨(Durbin-Watson) d 통계량으로 잔차항의 자기상관을 검증함(통상 d값이 2에 가까우면 잔차항간의 독립성이 존재하며, 0에 가까우면 양의 상관관계가, 4에 가까우면 음의 상관관계 존재함).
  - ⑤ AIC : 아카이이케 정보수준(Akaike information criterion, AIC)으로 모형의 래그를 선택할 때 보다 적은 AIC를 지닌 모형이 적정 모형이라 할 수 있음.
  - ⑥ SC : 쉬어츠 베이지안 정보수준(Schwartz bayesian information criterion, SC)로, 보다 적은 SC를 지닌 모형이 적정 모형이라 할 수 있음.

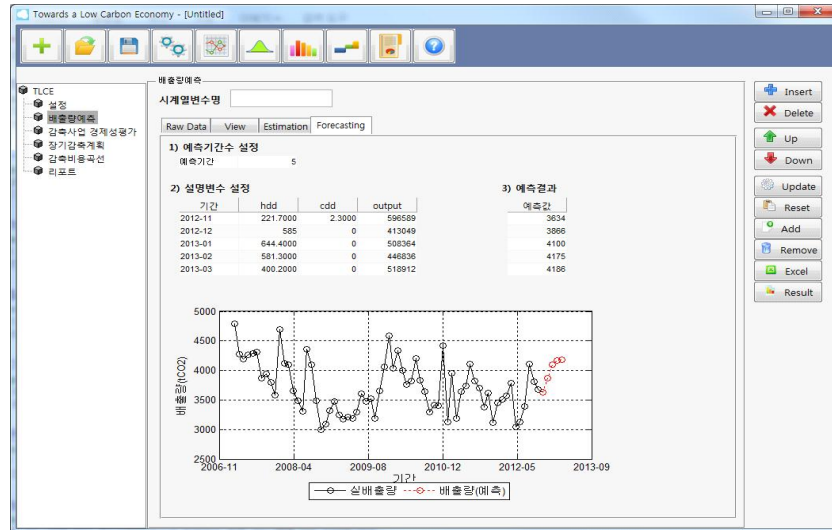
#### 4) Residual test (p-value)

- 회귀분석 모형의 기본전제인 잔차항의 안정성(Stationarity), 등분산성(Homoscedasticity), 독립성(Independence), 정규성(Normality)을 검정함(p값이 0.05이하이면 귀무가설을 기각).
- ① 단위근 : Dickey-Fuller 단위근 검정법을 통해 잔차항의 안정성을 검정함(귀무가설 : 단위근이 존재함. 즉, 불안정성 시계열을 의미).
- ② 이분산 : 자기상관 이분산(Autoregressive conditional heteroscedasticity, ARCH) 검정으로 잔차항의 이분산을 검정(귀무가설 : 잔차항의 분산이 동일함.)
- ③ 자기상관 : Ljung-Box의 Q 테스트로 잔차항의 독립성 여부를 검정(귀무가설 : 잔차항의 자기상관계수값들이 동시에 0임, 즉 서로 독립임.)
- ④ 정규성 : Jarque-Bera 정규성 테스트로, 잔차항이 정규분포를 따르는지 여부를 검정(귀무가설 : 잔차항이 정규분포 함)

#### 라. Forecasting

- Forecasting 탭은 추정된 모형을 이용하여 미래의 종속변수를 예측함.
- ① 예측기간수 설정 : 현재로부터 미래시점까지의 개월 수를 입력
- ② 설명변수 설정 : 설명변수들의 미래 값을 입력
- ③ 예측결과 : Result 버튼을 누르면, 예측을 수행하여 종속변수의 미래 값을 출력함.

[그림 4-8] 배출량예측 모듈 > Forecasting 탭



### 3. 감축사업 경제성평가<sup>19)</sup>

- 감축사업 경제성평가 모듈은 온실가스 감축사업의 경제성 평가 기능 제공을 목적으로 함.
- 순현재가치와 내부수익률, 회수기간, 단위비용의 경제성 분석방법을 채택으로 특정 방법의 장단점을 고려, 다양한 분석방법의 결과를 비교하여 사업의 적합성을 판별할 수 있음.
- 에너지 절감량과 에너지가격, 비용 등의 불확실성을 고려하여 경제성을 평가할 수 있는 몬테카를로 시뮬레이션법 적용하여

19) 현 프로그램 버전에서 대부효과가 고려되지 못하였으며, 감축기술의 기술적 요소가 단순화 되어 실제 투자 선택 시 주의가 요구됨.

입력변수에 확률분포(정규분포, 삼각형분포, 균등분포)를 선택할 수 있음.

- 감축사업 경제성평가 모듈은 데이터입력 탭과 결과를 나타내는 사업효과, 현금흐름, 경제성평가, 주요변수 탭으로 구성됨.

## 가. 데이터입력

- 데이터입력 탭은 감축사업의 경제성 평가를 위해 감축사업명 및 유형과 베이스라인 및 사업후 연간 에너지 사용량, 추가 입력 변수의 입력이 요구됨. 세부 입력 항목은 아래와 같음.

[그림 4-9] 감축사업 경제성평가 > 데이터입력 탭

The screenshot shows the 'Towards a Low Carbon Economy' software window. The 'Data Input' tab is active, displaying the following sections:

- 1) 감축사업명 및 유형**: Fields for Project Name, Abatement Period (years), Number of Years, Abatement Period (months), and Abatement Rate (%).
- 2) 베이스라인 연간 에너지 사용량**: A table for Baseline Annual Energy Consumption with columns for Abatement (unit), Region, Scenario, and three input fields (입력1, 입력2, 입력3) with a '값' (Value) column.
- 3) 사업후 연간 에너지 사용량**: A table for Post-project Annual Energy Consumption with columns for Abatement (unit), Region, Scenario, and three input fields (입력1, 입력2, 입력3) with a '값' (Value) column.
- 4) 추가 입력 변수(백만원)**: A table for Additional Input Variables (in millions of won) with columns for Variable Name, Scenario, and three input fields (입력1, 입력2, 입력3) with a '값' (Value) column.

The right-hand toolbar contains buttons for Insert, Delete, Up, Down, Update, Reset, Add, Remove, Excel, and Result.



### 1) 감축사업명 및 유형

- ① 사업명 : 감축사업명 입력란으로 기능버튼 중 Add를 누르면 트리뷰에서 자식노드를 생성할 수 있음.
- ② 기술가용시기(년도) : 감축사업 경제성평가에는 영향을 주지 않으나 장기감축계획 모듈에서 반영되는 변수로, 수월한 데이터 수집을 지원함.
- ③ 수명(년) : 감축설비의 수명으로 자본회수계수를 결정함.
- ④ 공사기간(개월) : 감축설비의 설치 소요기간으로 운영비 및 연간수익의 발생시점을 연기함.
- ⑤ 시뮬레이션 횟수 : 몬테카를로 시뮬레이션에 있어서 난수 발생수를 결정함.

### 2) 베이스라인 및 연간 에너지 사용량

- ① 배출원 : 감축설비 전, 후의 해당 에너지를 선택하며 복수의 에너지를 입력할 수 있게 설계함.
- ② 구분 : 직접 배출, 간접 배출, 누출을 선택
- ③ 시나리오 및 값 : 시나리오에 따른 에너지사용량 관련 변수를 결정함. 시나리오에 따른 입력값은 설정 모듈에 기술한 <표 4-1>을 참조

### 3) 추가 입력 변수

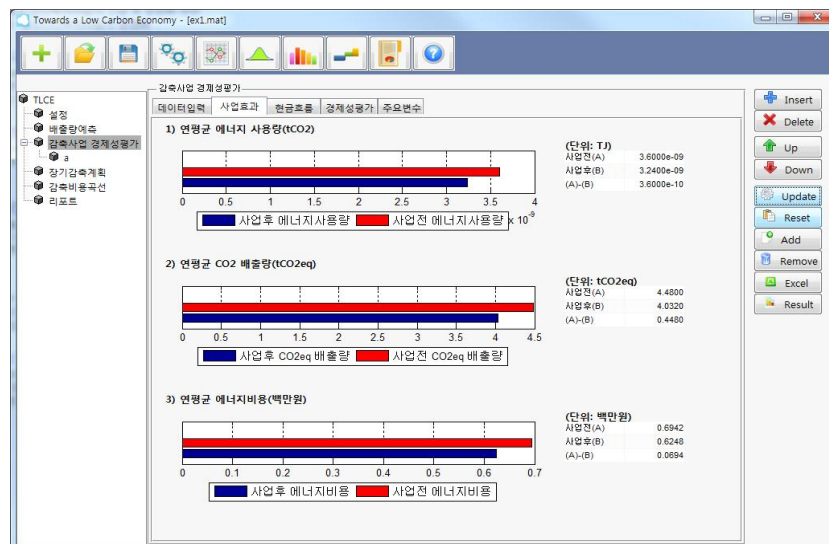
- ① 잔존가치 : 설비의 내용연수 말에 판매, 교환, 폐기를 통해 회수되는 추정 금액을 입력함.
- ② 초기투자비 : 감축설비를 구입 및 설치할 때의 초기비용을 입력

- ③ 운영비(연간) : 감축설비를 가동하는 중에 발생하는 비용을 입력
- ④ 기타비용(연간) : 기타 비용을 입력
- ⑤ 기타수익(연간) : 에너지비용을 절감하는 수익을 제외한 기타 수익을 입력

## 나. 사업효과

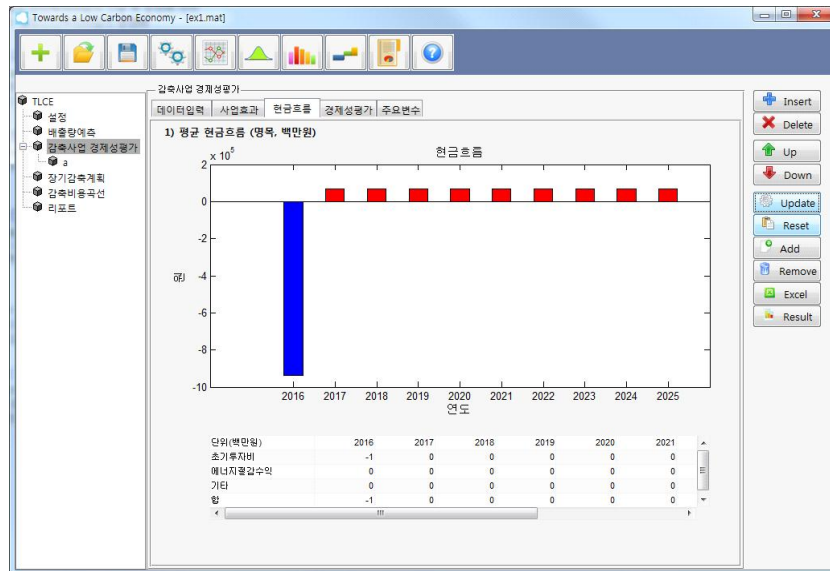
- 사업효과 탭은 감축사업 전, 후의 에너지 사용량과 CO<sub>2</sub> 배출량, 에너지비용을 비교하여 절감효과를 나타냄.
- 사업효과 탭의 바 그래프 및 표의 결과는 연평균 값을 취함.

[그림 4-10] 감축사업 경제성평가 > 사업효과 탭



## 다. 현금흐름

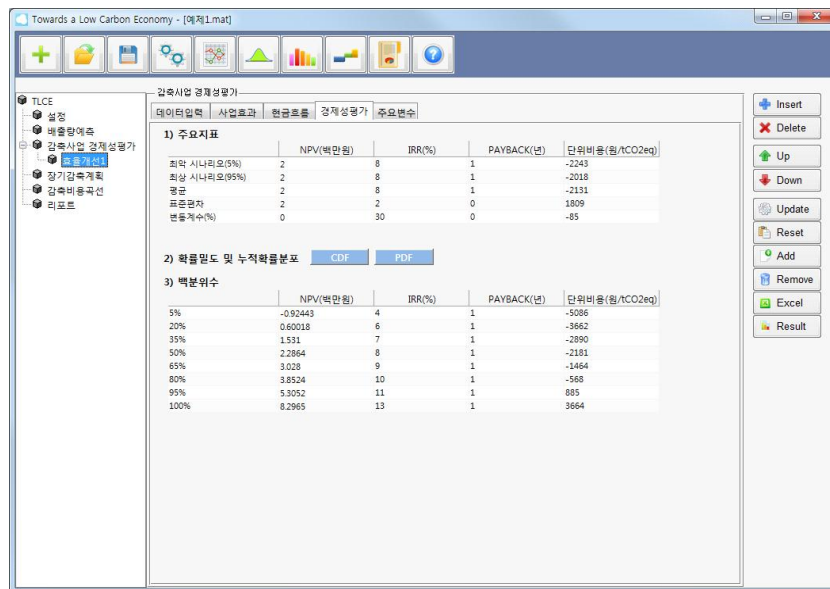
[그림 4-11] 감축사업 경제성평가 > 현금흐름 탭



- 현금흐름 탭은 감축사업의 수명기간 동안 현금의 유입 및 유출을 나타냄.
- 현금흐름 탭의 바 그래프 및 표의 결과는 연평균 값을 취함.

## 라. 경제성평가

[그림 4-12] 감축사업 경제성평가 > 경제성평가 탭



- 경제성평가 탭에서는 감축사업의 경제성을 평가하기 위해 NPV, IRR, PAYBACK, 단위비용 분석법을 채택하여 경제성 평가지표를 비교 분석함.
- 제3장에서 기술한 경제성 평가지표들의 장단점을 이해하고 감축사업의 우선순위를 결정하는 것이 필요함.
- 에너지 가격과 사용량, 비용/수익 변수에 불확실성을 감안하여 입력변수의 확률분포를 가정하여 경제성을 평가하는 재무 시뮬레이션 모형을 채택함.

### 1) 주요지표

- ① 비관 시나리오 : 해당 경제성평가지표의 95% 신뢰수준 (Confidence level)에서 하한 값을 나타냄.
- ② 낙관 시나리오 : 해당 경제성평가지표의 95% 신뢰수준 (Confidence level)에서 상한 값을 나타냄.
- ③ 평균 : 경제성평가지표 분포의 평균을 출력
- ④ 표준편차 : 경제성평가지표 분포의 표준편차를 출력
- ⑤ 변동계수 : 표준편차( $\sigma$ )를 산술평균( $\bar{x}$ )으로 나눈 것으로 ( $CV=\sigma/\bar{x}$ ), 서로 다른 자료의 상대적인 분산을 비교하는 것으로, 여기서는 변동계수의 값이 클수록, 감축기술의 불확실성에 따른 위험이 크다는 것을 의미함.

### 2) 확률밀도 및 누적분포함수

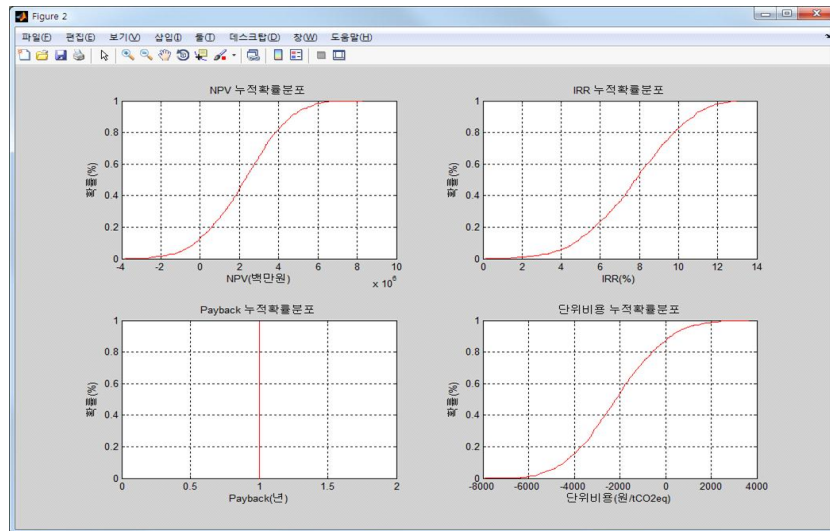
- ① 확률밀도함수(PDF) : 해당 경제성평가 지표의 확률 분포를 나타냄(평균과 분산을 시각적으로 용이하게 확인).
- ② 누적분포함수(CDF) : 해당 경제성평가 지표의 확률변수가 특정 값보다 이하일 확률을 나타냄<sup>20)</sup>.

### 3) 백분위수 : 백분위수(Percentile)는 시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 크기 순으로 나열하여, 해당 경제성평가 지표가 주어진 백분율(%) 이하가 되는 측정치를 나타냄.

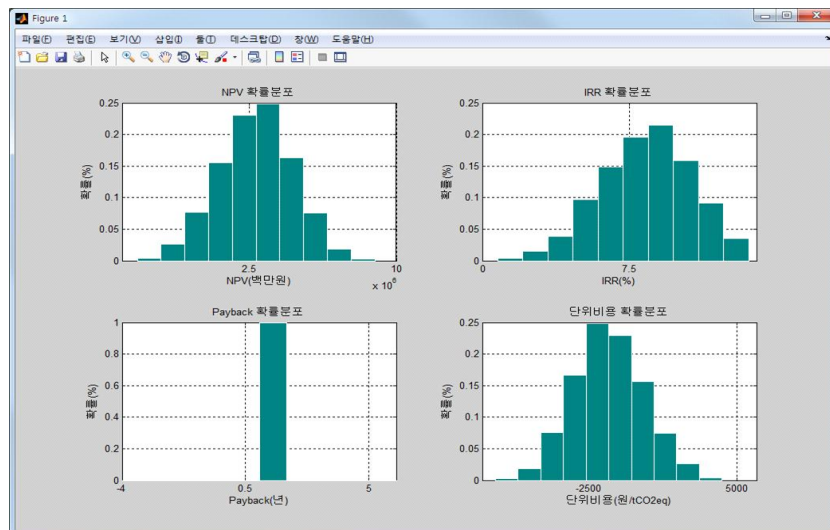
---

20) 예를 들어, 시뮬레이션에 의해 NPV 확률분포가 생성되고 누적분포상에 ( $x, p$ ) 값이 주어졌을 때, NPV가  $x$ 이하일 확률은  $p$ 이며, NPV가  $x$ 이상일 확률은  $1-p$ 임.

[그림 4-13] 확률밀도함수



[그림 4-14] 누적분포함수



## 마. 주요변수

[그림 4-15] 감축사업 경제성평가 > 주요변수 탭

1) 주요지표

	초기투자비(백만원)	잔존가치(백만원)	운영비(백만원/yr)	에너지절감액(백만원/yr)	CO2감축량(tCO2eq/yr)
최악 시나리오(5%)	19.9993	0	0	2.7331	13.562
최상 시나리오(95%)	20.0005	0	0	2.7619	13.5672
평균	19.9999	0	0	2.7475	13.5646
표준편차	0.010095	0	0	0.23256	0.041596
변동계수(%)	0	NaN	NaN	8e-06	0.30665

2) 확률밀도 및 누적확률분포

3) 백분위수

백분위수	초기투자비(백만원)	잔존가치(백만원)	운영비(백만원/yr)	에너지절감액(백만원/yr)	CO2감축량(tCO2eq/yr)
5%	19.9843	0	0	2.3541	13.4989
20%	19.9913	0	0	2.545	13.5306
35%	19.9957	0	0	2.6604	13.5493
50%	19.9994	0	0	2.7511	13.564
65%	20.0038	0	0	2.84	13.5784
80%	20.0086	0	0	2.9427	13.5981
95%	20.0166	0	0	3.1311	13.6359
100%	20.031	0	0	3.487	13.7025

- 주요변수 탭은 감축사업의 비용 및 수익관련 변수인 초기투자비, 잔존가치, 운영비, 에너지절감액, CO<sub>2</sub>감축량의 통계치, 확률밀도 및 누적분포함수, 백분위수를 나타냄.
- 감축사업 경제성평가 모듈에서 구축한 데이터베이스를 장기감축계획 모듈로 전송할 수 있도록 고안됨.

#### 4. 장기감축계획

- 장기감축계획은 감축사업의 선정과 투자시기, 배출권 구매/판매를 보다 용이하게 결정하기 위한 모듈임.
- 계획기간의 의무감축량을 충족하는 최소비용의 최적 포트폴리오(배출권 구매/판매량, 감축설비 및 설치시기) 산출을 위해 정수계획법(Integer Programming)을 채택함.
- 정수계획법에 따라 감축설비 비용 및 배출권거래가격과 구매량 변수를 구성된 아래와 같은 목적함수를 최소화하며 제약조건을 충족하는 최적해를 도출함<sup>21)</sup>.
- 장기감축계획 모듈은 데이터입력 탭인 내부감축사업과 출력탭인 최적설치시기, 최적감축포트폴리오, 내부감축사업 효과, 감축사업현금흐름, 초기투자비로 총 6가지 탭으로 구성됨.

##### 가. 내부감축사업

- 내부감축사업 탭은 최적해를 구성하는 온실가스 감축사업의 경제적 특성을 입력하는 공간임.
- 사용자의 입력시간 단축을 위해 감축사업 경제성평가 모듈에서 구축한 데이터베이스를 장기감축계획 모듈>내부감축사업 탭으로 불러들여 올 수 있음.

---

21) 정수계획법 모형에 관한 자세한 설명은 제3장, 3.정수계획법을 참조



- 우측 상단에 있는 퍼센트 선택항은 감축사업 경제성평가>주요지표의 백분위수를 나타내며 이 중 비관적 시나리오(5%)에서 평균 시나리오(50%)를 선택한 후, 우측의 Collect 버튼을 클릭함.

[그림 4-16] 장기감축계획 > 내부감축사업 탭

감축사업명	기술가용시기(년)	수명(년)	공사기간(월)	초기투자비(백만원)	잔존가치(백만원)	운영비(백만원/yr)	에너지절감액(%)
Option1	2015	10	3	20	0	0	0
Option2	2015	10	3	340	0	0	0
Option3	2015	10	3	20	0	0	0
Option4	2015	10	3	20	0	0	0
Option5	2015	10	3	150	0	0	0
Option6	2015	10	3	90	0	0	0
Option7	2015	10	3	120	0	0	0
Option8	2015	10	3	525	0	0	0
Option9	2015	10	3	200	0	0	0
Option10	2015	10	3	50	0	0	0
Option11	2015	10	3	0	0	0	0
Option12	2015	10	3	650	0	0	0
Option13	2015	10	3	1050	0	0	0
Option14	2015	10	3	250	0	0	0
Option15	2015	10	3	140	0	0	0
Option16	2015	10	3	90	0	0	0
Option17	2015	10	3	150	0	0	0
Option18	2015	10	3	180	0	0	0
Option19	2015	10	3	150	0	0	0
Option20	2015	10	3	120	0	0	0
Option21	2015	10	3	100	0	0	0
Option22	2015	10	3	100	0	0	0
Option23	2015	10	3	100	0	0	0
Option24	2015	10	3	60	0	0	0
Option25	2015	10	3	20	0	0	0
Option26	2015	10	3	5	0	0	0
Option27	2015	10	3	25	0	0	0
Option28	2015	10	3	17	0	0	0

○ 내추감축사업에 입력을 요하는 변수는 총 9개로, 아래와 같음.

- ① 사업명 : 온실가스 감축사업명 입력
- ② 기술가용시기(년도) : 모형의 제약조건으로 입력한 기술가용시기이전에는 해당 설비의 도입이 불가능함.
- ③ 수명(년) : 감축설비의 수명을 입력
- ④ 공사기간(개월) : 감축설비의 설치 소요기간을 입력
- ⑤ 초기투자비(백만원) : 감축설비를 구입 및 설치할 때의 초기비용

- ⑥ 잔존가치(백만원) : 설비의 내용연수 말에 판매, 교환, 폐기를 통해 회수되는 추정 금액을 입력
- ⑦ 운영비(백만원/yr) : 감축설비를 가동하는 중에 발생하는 연간 운영비를 입력
- ⑧ 에너지절감액(백만원/yr) : 감축설비 운영으로 인한 연간 에너지절감액(에너지가격×에너지감축량)과 기타 수익의 총 수익을 입력
- ⑨ 연간감축량(tCO<sub>2</sub>eq/yr) : 감축설비 운영으로 인한 연간 온실가스감축량을 입력

#### 나. 최적설치시기

- 최적설치시기 탭은 온실가스 감축기술의 투자여부와 투자시기를 출력하며, 동시에 경제성평가 결과를 더불어 나타냄.
  - 결과 테이블에 마지막 열인 최적설치시기에 표시되는 결과는 정수계획 모형에 의한 비용최소화를 만족하는 해로 투자선정에 가장 중요한 기준이 될 수 있으며, 기타 경제성평가 결과(NPV, IRR, 단위비용)는 참고자료로 활용될 수 있음.
  - 최적설치시기에 표시되는 값은 감축사업의 설치년도로 감축설비가 투자로 선정되어 설치되어야 할 연도를 나타내며, 결과값이 0인 경우는 경제성 부족 또는 다른 투자대안보다 낮은 경제성으로 투자되지 않음을 의미함.

[그림 4-17] 장기감축계획 > 최적설치시기 탭

감축사업명	NPV(백만원)	IRR(%)	PAYBACK(년)	단위비용(tCO <sub>2</sub> eq)	최적설치시기
Option1	938.4475	NaN	0.2	-2430695	2015
Option2	463.8074	40.899	3.3	-400435	2017
Option3	73.6132	149.9506	1.7	-56078	2015
Option4	58.1697	99.8029	2	-75332	2015
Option5	860.9684	650	1.2	-929161	2015
Option6	145.9378	48.5834	3	-47249	2017
Option7	1430.0613	NaN	0.6	-103089	2015
Option8	1818.5205	133.2651	1.8	-196040	2015
Option9	-90.0936	NaN	15.4	38892	0
Option10	492.9024	NaN	0.7	-255332	2015
Option11	1544.347	NaN	0	-1333333	2015
Option12	1697.4729	85.3828	2.2	-457980	2016
Option13	-536.6959	NaN	17.5	278018	0
Option14	-8.4432	4.3042	8.3	3338	2019
Option15	21.1014	8.9805	7	-11881	2018
Option16	300.3725	124.9151	1.8	-259331	2016
Option17	783.751	399.9998	1.3	-780784	2016
Option18	291.8755	48.5834	3	-1256974	2017
Option19	166.0123	33.6999	3.8	-718645	2018
Option20	194.5837	48.5834	3	-31489	2017
Option21	213.6313	65.969	2.5	-64340	2017
Option22	213.6313	65.969	2.5	-110665	2017
Option23	-25.7425	NaN	11.1	37042	0
Option24	4.631	7.0551	7.5	-11995	2018
Option25	27.2628	48.899	3.3	-10665	2018
Option26	149.6728	NaN	0.3	-32306	2015
Option27	76.573	108.1859	1.9	-330552	2017
Option28	84.1921	324.9993	1.3	-272581	2015
Option29	71.8111	75.9986	2.3	-24473	2017

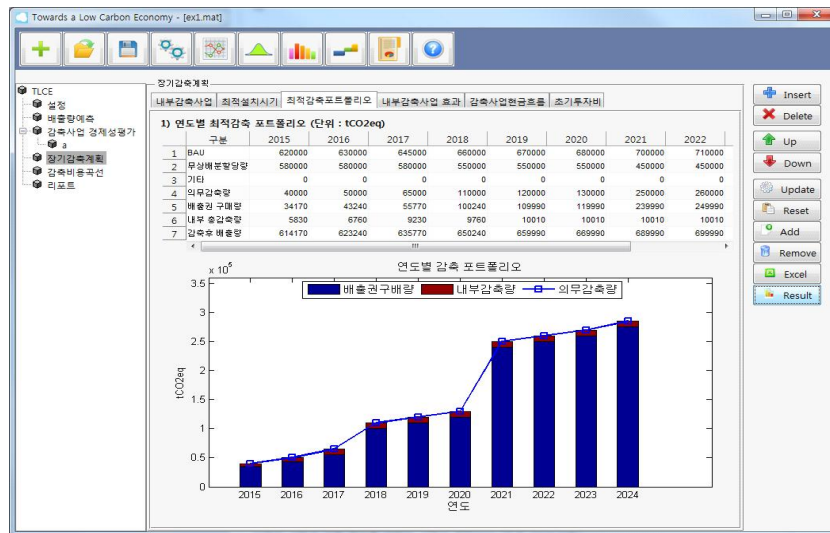
## 다. 최적감축포트폴리오

- 최적감축포트폴리오 탭에서는 배출량(tCO<sub>2</sub>eq) 기준의 입력변수와 출력변수로 구성된 결과테이블과 혼합 그래프를 출력함.
  - 입력변수로는 설정에서 입력한 BAU, 무상배분할당량, 기타, 의무감축량이 있음.
  - 출력변수로는 최적해인 배출권구매량(KAU)<sup>22)</sup>과 선정된 온실가스 감축사업의 투자로 인한 내부 총감축량으로 이 둘의 합은 제약조건식에 따라 의무감축량보다 반드시 같거나 커야 함.

22) KAU(Korean Allowance Unit) : 우리나라 고유의 영문 배출권 명칭으로 1KAU는 1tCO<sub>2</sub>eq에 해당함.

- 마지막 행에 감축 후 배출량은 BAU에서 내부 총감축량을 차감한 것으로, 최적해에 따른 온실가스 감축기술을 모두 설치하였을 때의 배출량 전망을 나타냄.

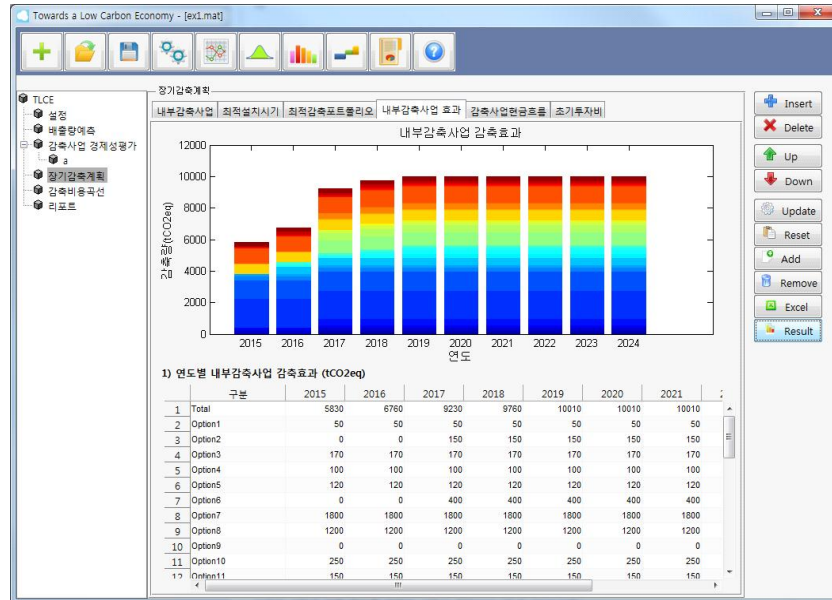
[그림 4-18] 장기감축계획 > 최적감축포트폴리오 탭



## 라. 내부감축사업 효과

- 내부감사업 효과 탭에서는 최적해에 따른 연도별 온실가스 배출 감축량(tCO<sub>2</sub>eq)을 나타냄.
  - 결과테이블에서 연도별 총 내부감축량과 개별 감축사업의 연도별 감축효과를 확인할 수 있음.
  - 막대 그래프는 개별감축사업의 감축효과를 각기 다른 색으로 하여 누적으로 쌓아 올린 것임.

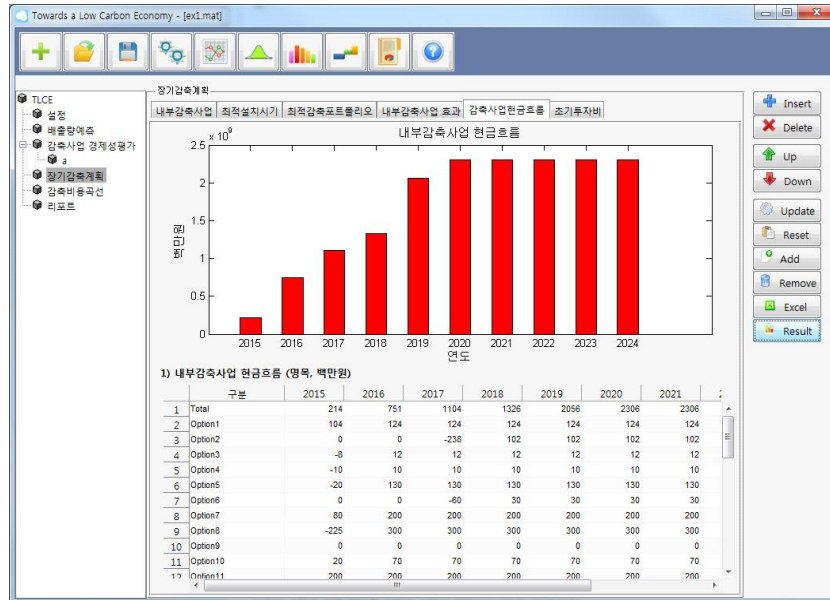
[그림 4-19] 장기감축계획 > 내부감축사업효과 탭



#### 마. 감축사업현금흐름

- 감축사업현금흐름 탭에서는 최적 감축설비 투자에 따른 현금흐름을 나타냄.
  - 결과테이블에서 연도별 총 현금흐름과 개별 감축사업의 연도별 현금흐름을 확인할 수 있음.
  - 막대 그래프는 총 현금흐름을 나타냄.

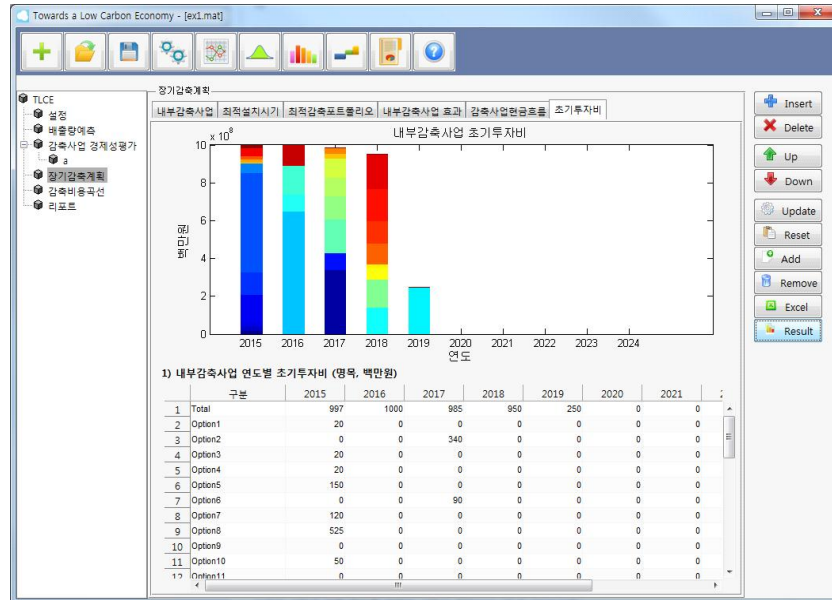
[그림 4-20] 장기감축계획 > 감축사업현금흐름 탭



#### 아. 초기투자비

- 초기투자비 탭에서는 최적 감축설비 투자에 따라 초기투자비의 집행시기와 규모를 나타냄.
  - 결과테이블에서 연도별 총 초기투자비와 개별 감축사업의 초기투자비와 집행시기를 확인할 수 있음.
  - 막대 그래프는 개별감축사업의 초기투자비를 각기 다른 색으로 하여 누적으로 쌓아 올린 것임.

[그림 4-21] 장기감축계획 > 초기투자비 탭



## 5. 감축비용곡선

- 감축비용곡선 모듈은 온실가스를 감축할 수 있는 모든 감축기술을 경제성순으로 나열하는 감축비용곡선 출력을 지원함.
- 기업체의 총 감축잠재량을 파악함과 동시에 감축기술의 우선순위 비교 수단을 제공함.
- 본 모듈은 감축사업리스트와 감축비용곡선 탭으로 구성됨.

## 가. 감축사업리스트

[그림 4-22] 감축비용곡선 > 감축사업리스트 탭 화면

1)	감축사업명	연간감축량(tCO2eq)	단위비용(원/tCO2eq)	설치시기
1	Option1	50	-2430665	2015
2	Option2	150	-400435	2017
3	Option3	170	-56078	2015
4	Option4	100	-75332	2015
5	Option5	120	-929161	2015
6	Option6	400	-47249	2017
7	Option7	1800	-102289	2015
8	Option8	1200	-196040	2015
9	Option9	300	38892	0
10	Option10	250	-255332	2015
11	Option11	150	-1333333	2015
12	Option12	480	-457980	2016
13	Option13	250	278018	0
14	Option14	250	3338	2019
15	Option15	230	-11861	2016
16	Option16	150	-259331	2016
17	Option17	130	-780784	2016
18	Option18	30	-1259974	2017
19	Option19	30	-716645	2018
20	Option20	800	-31499	2017
21	Option21	430	-64340	2017
22	Option22	250	-110665	2017
23	Option23	90	37042	0
24	Option24	50	-11995	2018
25	Option25	50	-70665	2018
26	Option26	600	-32306	2015
27	Option27	30	-330552	2017

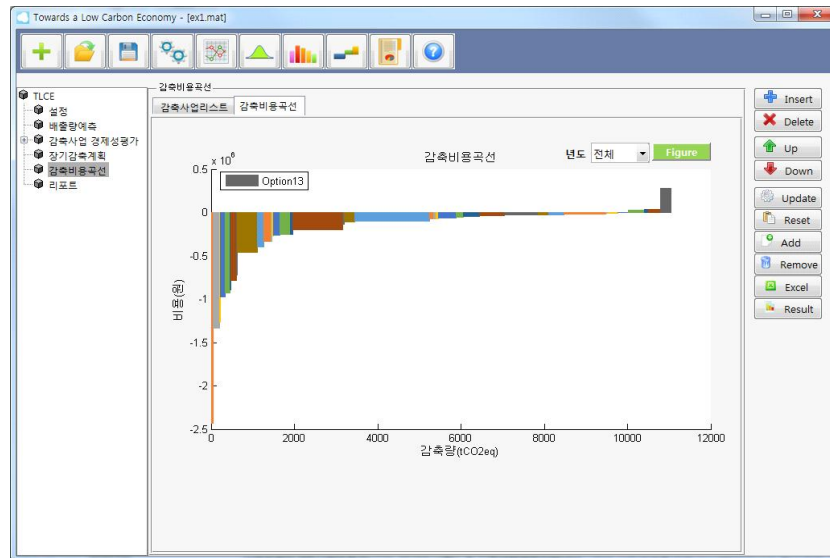
- 감축사업리스트 탭은 감축비용곡선을 구성하는 개별 감축사업의 정보 입력을 요함.
- 입력값으로는 감축사업명, 연간감축량, 단위비용, 설치시기이며, Collect 버튼을 실행하여 장기감축계획의 결과를 불러올 수 있음.

## 나. 감축비용곡선

- 감축사업리스트에 입력한 단위비용을 기준으로 오름차순으로 정렬하여 감축량을 누적한 것으로 기업의 전체 비용곡선을 도출



[그림 4-23] 감축비용곡선 > 감축비용곡선 탭 화면



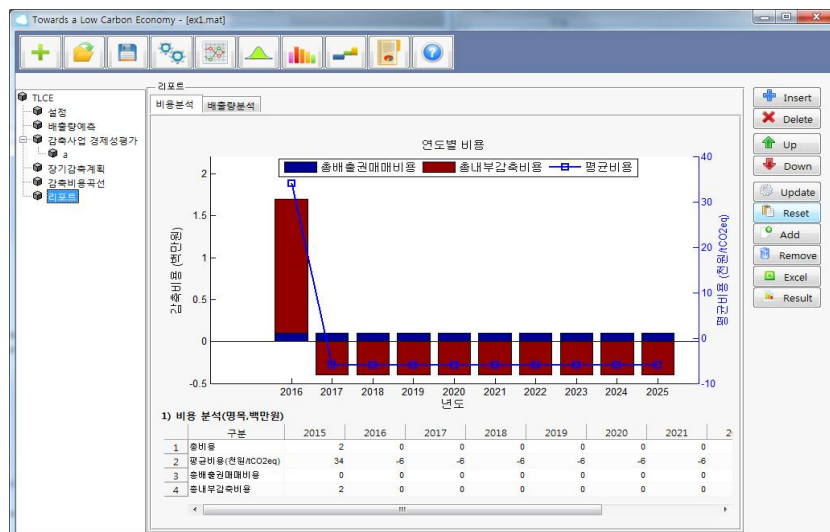
- 세로축은 감축사업들의 단위비용(원/tCO<sub>2</sub>eq)을, 가로축은 해당 감축사업들의 온실가스 감축량(tCO<sub>2</sub>eq)을 나타냄.
- 음의 단위비용인 감축사업은 온실가스 감축으로 인한 수익이 발생하는 것을 의미하며, 반대로 양의 단위비용인 감축사업은 온실가스 감축에 따른 비용이 수반됨을 의미함.
- 특정 년도를 선택하면 감축사업의 설치연도가 선택된 년 및 이 전년도 들어선 감축사업으로 한정되어 특정 년도의 감축비용을 나타낼 수 있음.

## 6. 리포트

- 리포트 모듈은 장기감축계획 모듈에서 계산된 최적해를 바탕으로 기업체에게 배출권거래제 대응에 따른 비용/편익, 필요 예산과 배출권 구매/판매량 정보를 제시함.
- 본 모듈은 비용분석 및 배출량분석 탭으로 구성됨.

### 가. 비용분석

[그림 4-24] 리포트 > 비용분석 탭 화면



- 비용분석 탭에서는 장기감축계획 모듈에서 도출한 최적해를 바탕으로 다음 변수를 출력함.
- ① 총내부감축비용(감축사업투자비+운영비-에너지절감수익)
  - ② 총배출권구매비용(배출권구입비-배출권판매비)

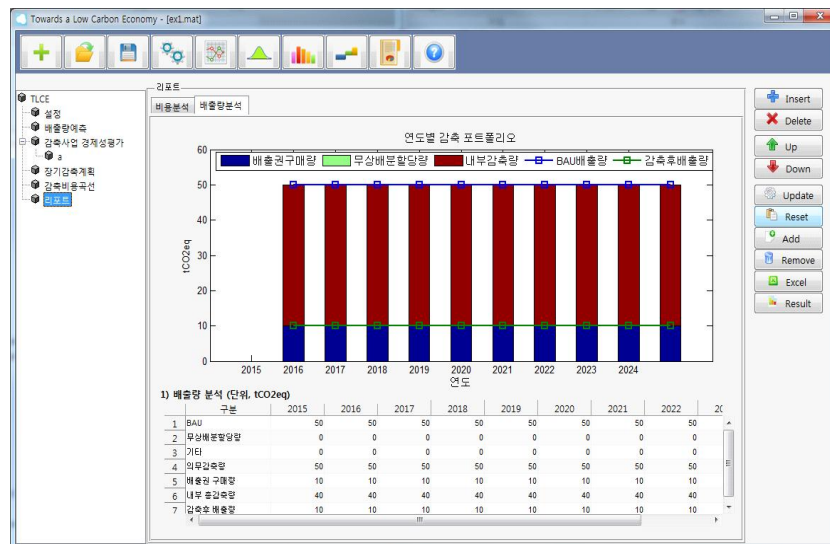
- ③ 총비용 = 총내부감축비용+총배출권매매비용  
 ④ 평균비용 = 총비용/의무감축량

## 나. 배출량분석

○ 배출량분석 탭에서는 설정에서 입력한 의무감축량 관련 변수와 장기감축모델에서 도출한 최적값을 바탕으로 다음과 같은 출력 값을 지님.

- ① BAU 배출량, 무상배분할당량, 기타, 의무감축량
- ② 배출권구매량(KAU)
- ③ 내부 총감축량
- ④ 감축후 배출량(BAU 배출량-내부 총감축량)

[그림 4-25] 리포트 > 배출량분석 탭 화면



## 참 고 문 헌

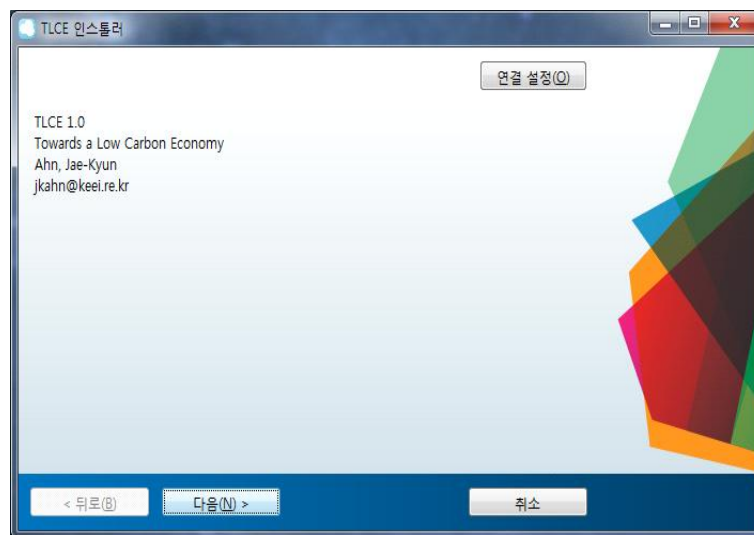
- 김명직 및 장국현(2002), 「금융시계열분석(제2판)」
- 박찬석 및 최성호(2014), 「공학경제개론(제1판)」
- Ayers, R. and Walter, J. (1991), “The Greenhouse Effect: Damages, Costs and Abatement”, *Environmental and Resource Economics*, 1(3): 237-270
- Ellerman, A.D., Convery, F.J., and Perthuis, C.D. (2010), 「Pricing carbon: the European Union Emission Trading Scheme」, Cambridge University Press
- Dantzig, G.B. (1951), “Maximization of a Linear Function of Variables Subject to Linear Inequalities”, in Koopmans, T.C.(ed), 「Activity Analysis of Production and Allocation」, John Wiley & Sons: New York
- Gomory, R.E. (1958), “Outline of an algorithm for integer solutions to linear programs.” *Bulletin of the American Mathematical society*, 64(5): 275-278.
- Land, A.H. and Doig, A.G. (1960). “An automatic method of solving discrete programming problems”, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 497-520.
- Johnston, J. and Dinardo, J. (1997), 「Econometric methods」, McGraw-Hil: New York



## 〈부 록 1〉 프로그램 설치안내

- 1) 사용자 컴퓨터의 32비트 또는 64비트<sup>23)</sup>에 따라 각각 인스톨 파일, TLCE\_2014\_MCR\_32bit, TLCE\_2014\_MCR\_64bit를 에너지경제연구원 홈페이지(<http://www.keei.re.kr>), 연구자료에서 ‘배출권거래제 대응 프로그램 개발연구’ 검색 후 파일 다운로드
- 2) 인스톨 파일 실행 후, 하단에 위치한 다음버튼 클릭(인터넷 연결에 추가 설정이 필요한 경우 상단 연결 설정 버튼 클릭하여 설정)

[부록그림 1-1] 프로그램 설치화면#1



- 23) 바탕화면 아이콘 내컴퓨터를 마우스 오른쪽 버튼 클릭 후, 속성을 선택하여 시스템 종류에 32비트 또는 64비트 운영 체제를 확인할 수 있음.

- 3) 설치폴더의 전체경로 입력 및 바탕화면에 바로가기 아이콘 추가  
여부 선택 후 다음버튼 클릭(바로가기 아이콘 추가 권장)

[부록그림 1-2] 프로그램 설치화면#2



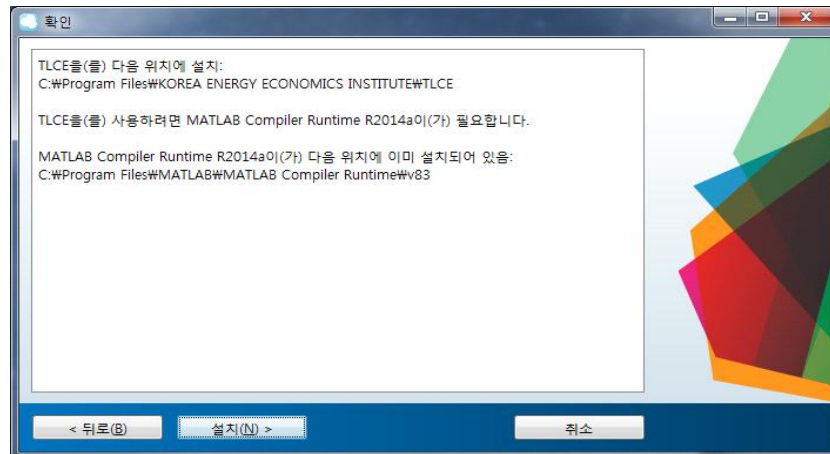
- 4) MATLAB Compiler Runtime(MCR) 설치여부 결정 후 다음버튼  
클릭(MCR 최초 프로그램 설치 시 필수)

[부록그림 1-3] 프로그램 설치화면#3



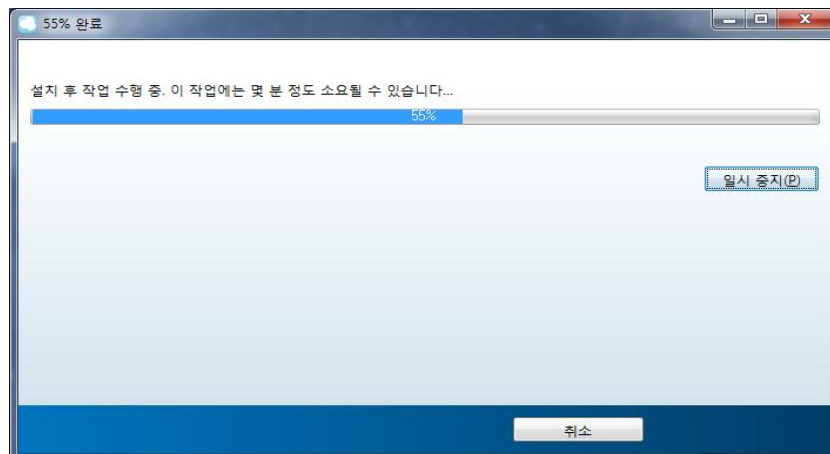
5) 파일 설치위치 및 MCR 설치여부 최종 결정 후 설치버튼 클릭

[부록그림 1-4] 프로그램 설치화면#4



6) 최종 선택 후 MCR 및 프로그램 파일 다운로드

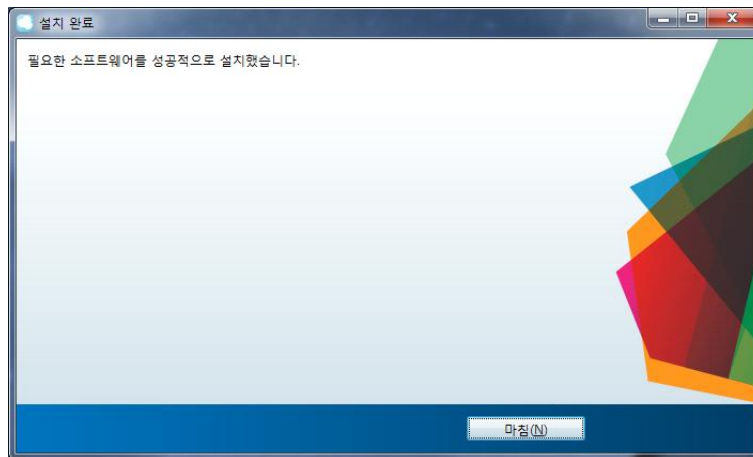
[부록그림 1-5] 프로그램 설치화면#5





- 7) 다운로드 완료되면 마침 클릭 후, 지정한 설치목록에 application  
폴더에 tlce.exe 파일 또는 바로가기 아이콘 클릭하여 프로그램  
실행

[부록그림 1-6] 프로그램 설치화면#6



## 〈부 록 2〉 온실가스 배출량 산정방법

### 1. 온실가스 배출량 등의 산정방법<sup>24)</sup>

#### 가 고체연료 연소

##### 1) 배출원

건물 난방 등을 위하여 무연탄, 유연탄, 갈탄과 같은 고체형태의 연료를 연소하는 보일러, 버너, 가열기, 급탕기, 열풍기 등의 시설

##### 2) 배출량 산정방법

$$\begin{aligned} & \text{온실가스 배출량(tCO}_2\text{eq)} \\ &= \Sigma [\text{연료 사용량(kg)} \times \text{순발열량(MJ/kg)} \times \text{배출계수} \\ & \quad (\text{kgGHG(CO}_2\text{/CH}_4\text{/ N}_2\text{O)/TJ)} \times 10^{-9} \times \text{지구온난화지수}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{에너지 사용량(TJ)} \\ &= \text{연료 사용량(kg)} \times \text{총발열량(MJ/kg)} \times 10^{-6} \end{aligned}$$

비고 1. 연료사용량 : 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 연료사용량(공급자가 발행하고 구입량이 기입된 요금청구서, 재고량 등을 이용하여 산정)

2. 발열량 : 에너지법 시행규칙 제5조제1항 별표 참고

3. 배출계수 : 온실가스 종합정보센터가 고시하는 국가 고유 배출계수를 사용하되 고시되기 전까지는 IPCC 기본 배출계수를 사용

4. 지구온난화지수 : CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 21, N<sub>2</sub>O = 310

24) 출처: 공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침, [별표 4]

## 나. 기체연료 연소

### 1) 배출원

건물 난방 등을 위하여 LNG, LPG, 프로판 및 기타 부생가스 등 기체형태의 연료를 연소하는 보일러, 버너, 가열기, 급탕기, 열풍기 등의 시설

### 2) 배출량 산정방법

온실가스 배출량(tCO<sub>2</sub>eq)

$$= \sum [\text{기체 화석연료 사용량}(\text{Nm}^3 \text{ 또는 kg}) \times \text{순발열량}(\text{MJ/Nm}^3 \text{ 또는 kg}) \times \text{배출계수}(\text{kgGHG (CO}_2/\text{CH}_4/\text{N}_2\text{O)/TJ}) \times 10^{-9} \times \text{지구온난화지수}]$$

에너지 사용량(TJ)

$$= \text{기체 화석연료 사용량}(\text{Nm}^3 \text{ 또는 kg}) \times \text{총발열량}(\text{MJ/Nm}^3 \text{ 또는 kg}) \times 10^{-6}$$

- 비고 1. 연료사용량 : 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 연료사용량(공급자가 발행하고 구입량이 기입된 요금청구서, 재고량 등을 이용하여 산정)
2. 발열량 : 에너지법 시행규칙 제5조제1항 별표 참고
3. 배출계수 : 온실가스 종합정보센터가 고시하는 국가 고유 배출계수를 사용  
하되 고시되기 전까지는 IPCC 기본 배출계수를 사용
4. 지구온난화지수 : CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 21, N<sub>2</sub>O = 310

## 다. 액체연료 연소

### 1) 배출원

건물 난방 등을 위하여 등유, 경유, B-A/B/C와 같은 액체형태의 연료를 연소하는 보일러, 버너, 가열기, 급탕기, 열풍기 등의 시설

### 2) 배출량 산정방법

$$\begin{aligned} & \text{온실가스 배출량(tCO}_2\text{eq)} \\ &= \Sigma[\text{액체 화석연료 사용량( l )} \times \text{순발열량(MJ/ l )} \times \text{배출계수} \\ & \quad (\text{kgGHG(CO}_2\text{/CH}_4\text{/N}_2\text{O)/TJ)} \times 10^{-9} \times \text{지구온난화지수}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{에너지 사용량(TJ)} \\ &= \text{액체 화석연료 사용량( l )} \times \text{총발열량(MJ/ l )} \times 10^{-6} \end{aligned}$$

- 비고 1. 연료사용량 : 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 연료사용량(공급자가 발행하고 구입량이 기입된 요금청구서, 재고량 등을 이용하여 산정)
2. 발열량 : 에너지법 시행규칙 제5조제1항 별표 참고
3. 배출계수 : 온실가스 종합정보센터가 고시하는 국가 고유 배출계수를 사용하되 고시되기 전까지는 IPCC 기본 배출계수를 사용
4. 지구온난화지수 :  $\text{CO}_2 = 1$ ,  $\text{CH}_4 = 21$ ,  $\text{N}_2\text{O} = 310$

## 라. 이동연소(도로)

### 1) 배출원

휘발유, 경유, LPG 등의 차량 연료 연소 등을 통하여 온실가스를 배

출하는 승용자동차, 승합자동차, 화물자동차, 특수자동차 및 이륜자동차 등의 이동연소시설

## 2) 배출량 산정방법

$$\begin{aligned} & \text{온실가스 배출량(tCO}_2\text{eq)} \\ &= \Sigma [\text{연료 사용량( l 또는 kg)} \times \text{순발열량(MJ/ l 또는 kg)} \times \text{배출계수} \\ & \quad (\text{kgGHG(CO}_2\text{/CH}_4\text{/ N}_2\text{O)/TJ)} \times 10^{-9} \times \text{지구온난화지수}] \\ & \text{에너지 사용량(TJ)} \\ &= \text{연료 사용량( l 또는 kg)} \times \text{총발열량(MJ/ l 또는 kg)} \times 10^{-6} \end{aligned}$$

- 비고 1. 연료사용량 : 사업자 혹은 연료공급자에 의해 측정된 연료사용량(주유소 등에서 발행하고 주유량이 기입된 요금청구서, 기관별 차량 운행일지 등을 이용하여 산정)
2. 발열량 : 에너지법 시행규칙 제5조제1항 별표 참고
3. 배출계수 : 온실가스종합정보센터가 고시하는 국가 고유 배출계수를 사용하되 고시되기 전까지는 아래의 연료별, 온실가스별 기본배출계수를 사용
4. 지구온난화지수 : CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 21, N<sub>2</sub>O = 310

## 마. 전기의 사용

### 1) 배출원

공공부문에서 소유 또는 사용하고 있는 건물의 조명·사무기기·기계·설비(에너지 관리의 연계성, 즉 전기 수전점을 공유하고 있는 다른 건물 및 부대시설 등 포함)의 사용을 위한 전기 사용에 따른 온실가스 배출량과 에너지 사용량을 산정한다.

## 2) 배출량 산정방법

$$\begin{aligned}
 & \text{온실가스 배출량(tCO}_2\text{eq)} \\
 &= \Sigma [\text{전력사용량(MWh)} \times \text{배출계수(tGHG(CO}_2\text{/CH}_4\text{/N}_2\text{O)/ MWh)} \\
 & \quad \times \text{지구온난화지수}] \\
 & \text{에너지 사용량(TJ)} \\
 &= \text{전력사용량(MWh)} \times 9.625 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

- 비고 1. 전력사용량 : 법정계량기 등으로 측정된 시설별 전력 사용량(한국전력 등 전력공급자가 발행하고 전력사용량이 기입된 요금청구서의 전력사용량 등을 이용하여 산정)
2. 배출계수 : 아래에 제시된 기준연도에 해당하는 2개연도('07~'08년) 평균값을 적용한다. 배출계수는 3년간 고정하여 적용하며 향후 전력거래소에서 제정하는 전력간접배출계수를 센터에서 확인·공표하면 그 값을 적용
3. 지구온난화지수 : CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 21, N<sub>2</sub>O = 310

### 〈부표 2-1〉 국가 고유 전력배출계수

년도	CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> /MWh)	CH <sub>4</sub> (kgCH <sub>4</sub> /MWh)	N <sub>2</sub> O (kgN <sub>2</sub> O/MWh)
2개년 평균 (2007~2008)	0.4653	0.0054	0.0027

출처 : 공공부문 온실가스 · 에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침

- 25) 2014년 10월 10일 개정된 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」, 연료별 국가 고유 발열량에서 전력(소비기준)의 총발열량을 따름.

## 바. 열(스팀)의 사용

### 1) 배출원

공공부문에서 소유 또는 사용하고 있는 건물의 난방 등을 위한 열(스팀) 사용에 따른 온실가스 배출량과 에너지 사용량을 산정한다.

### 2) 배출량 산정방법

$$\text{온실가스 배출량(tCO}_2\text{eq)} = \sum [\text{열(스팀) 사용량(GJ)} \times \text{배출계수 (tGHG(CO}_2\text{/CH}_4\text{/N}_2\text{O)/GJ)} \times \text{지구온난화지수}]$$

- 비고 1. 열에너지 사용량 : 적선열량계 등 법정열량계 등으로 측정된 시설별 열(스팀) 사용량(열에너지 공급자가 발행하고 열에너지 사용량이 기입된 요금청구서 등을 활용)
2. 배출계수 : 열(스팀) 공급자가 제공하는 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」(환경부 고시)에 따라 개발한 간접배출계수를 사용
3. 지구온난화지수 : CO<sub>2</sub> = 1, CH<sub>4</sub> = 21, N<sub>2</sub>O = 310

## 2. 연료별 국가 고유 발열량

〈부표 2-2〉 연료별 국가 고유 발열량

연료명	단 위		총발열량	순발열량
	에너지법 시행규칙 상	TJ로 환산시		
원유	MJ/kg	TJ/Gg	44.9	42.2
휘발유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	32.6	30.3
등유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	36.8	34.3
경유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	37.7	35.3
B-A유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	38.9	36.4
B-B유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	40.5	38.0
B-C유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	41.6	39.2
프로판	MJ/kg	TJ/Gg	50.4	46.3
부탄	MJ/kg	TJ/Gg	49.6	45.6
나프타	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	32.3	30.0
용제	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	33.3	31.0
항공유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	36.5	34.1
아스팔트	MJ/kg	TJ/Gg	41.5	39.2
윤활유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	39.8	37.0
석유코크스(고체)	MJ/kg	TJ/Gg	33.5	31.6
부생연료1호1)	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	36.9	34.3
부생연료2호2)	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	40.0	37.9
천연가스(LNG)	MJ/kg	TJ/Gg	54.6	49.3
도시가스(LNG)	MJ/Nm <sup>3</sup>	TJ/1,000,000Nm <sup>3</sup>	43.6	39.4
도시가스(LPG)	MJ/Nm <sup>3</sup>	TJ/1,000,000Nm <sup>3</sup>	62.8	57.7
국내무연탄	MJ/kg	TJ/Gg	18.9	18.6
연료용 수입무연탄	MJ/kg	TJ/Gg	21.0	20.6
원료용 수입무연탄	MJ/kg	TJ/Gg	24.7	24.4
유연탄(연료용)	MJ/kg	TJ/Gg	25.8	24.7
유연탄(원료용)	MJ/kg	TJ/Gg	29.3	28.2
아역청탄	MJ/kg	TJ/Gg	22.7	21.4
코크스(석탄)	MJ/kg	TJ/Gg	29.1	28.9
전력(발전기준)	MJ/kWh	TJ/GWh	8.8	8.8
전력(소비기준)	MJ/kWh	TJ/GWh	9.6	9.6

- 비고) 1. “총발열량”이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 발열량을 말한다.  
 2. 온실가스 배출량 산정 시 순발열량을 사용하며, 에너지사용량을 집계할 경우 총 발열량을 사용한다.  
 3. 1cal = 4.1868J  
 4. MJ = 10<sup>6</sup>J 로 한다.  
 5. Nm<sup>3</sup> = 0°C, 1

출처 : 온실가스에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침, [별표 22]



### 3. 연료별 국가 고유 배출계수

〈부표 2-3〉 연료별 국가 고유 배출계수

구분	연료	탄소배출계수 (tC/TJ)	이산화탄소 배출계수 (kgCO <sub>2</sub> /TJ)
석유 (16)	휘발유	20.0	73,300
	등유2호(실내등유)	19.6	71,900
	등유1호(보일러등유)		
	경유	20.2	74,100
	B-A유	20.4	74,800
	B-B유	20.5	75,200
	B-C유	20.6	75,500
	나프타	19.2	70,400
	용제	19.3	70,800
	항공유(JET-A1)	19.8	72,600
	아스팔트	21.6	79,200
	윤활유	19.9	73,000
	부생연료 1호	19.7	72,200
	부생연료 2호	21.0	77,000
	프로판	17.6	64,500
	부탄	18.1	66,400
가스 (2)	천연가스(LNG)	15.3	56,100
	도시가스(LNG)		
	도시가스(LPG)	17.6	64,500
석탄 (6)	국내무연탄	30.5	112,000
	수입무연탄(연료용)	28.6	105,000
	수입무연탄(원료용)	29.2	107,000
	유연탄(연료용)	26.0	95,300
	유연탄(원료용)	26.2	96,100
	아역청탄	26.2	96,100

비고) 1. 「에너지법 시행규칙」에 의해 '11년에 고시된 발열량 기준으로 본배출계수는 '12~'16년  
온실가스 배출량 산정에 적용

2. 등유1호(보일러 등유)의 판매가 '11.7.1부터 폐지되어 등유2호(실내)를 등유계수로 변경

3. 석유코크의 온실가스를 산정해야하는 경우 '06년 발열량 기준 석유코크 배출계수를 적용  
출처 : 온실가스에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침, [별표 22]

#### 4. 2006 IPCC 국가 인벤토리 가이드라인 기본 배출계수

##### 〈부표 2-4〉 2006 IPCC 국가 인벤토리 가이드라인 연료별 배출계수

(단위 : kgGHG/TJ)

연료명		국내 에너지원 기준	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>				N <sub>2</sub> O	
				에너지 산업	제조업 건설업	상업공공	가정 기타	에너지산업 제조업 건설업	상업공공 가정 기타
I. 석유류									
원유		원유	73,300	3	3	10	10	0.6	0.6
오리멸전		-	77,000	3	3	10	10	0.6	0.6
액성 천연가스		-	64,200	3	3	10	10	0.6	0.6
가솔린	자동차용 가솔린	휘발유	69,300	3	3	10	10	0.6	0.6
	항공용 가솔린	-	70,000	3	3	10	10	0.6	0.6
	제트용 가솔린	-	70,000	3	3	10	10	0.6	0.6
제트용 등유		JET A-1, JP-8	71,500	3	3	10	10	0.6	0.6
기타 등유		등유	71,900	3	3	10	10	0.6	0.6
헬암유		-	73,300	3	3	10	10	0.6	0.6
가스/디젤 오일		경유	74,100	3	3	10	10	0.6	0.6
잔여 연료유		B-C유	77,400	3	3	10	10	0.6	0.6
액화석유가스		LPG	63,100	1	1	5	5	0.1	0.1
에탄		-	61,600	1	1	5	5	0.1	0.1
나프타		납사	73,300	3	3	10	10	0.6	0.6
역청(아스팔트)		아스팔트	80,700	3	3	10	10	0.6	0.6
윤활유		윤활유	73,300	3	3	10	10	0.6	0.6

연료명	국내 에너지원 기준	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>				N <sub>2</sub> O	
			에너지 산업	제조업 건설업	상업공공	가정 기타	에너지산업 제조업 건설업	상업공공 가정 기타
석유 코크스	석유코크스 (고체)	97,500	3	3	10	10	0.6	0.6
정제 원료	정제 원료	73,300	3	3	10	10	0.6	0.6
기타 오일	정제가스	정제가스	57,600	1	1	5	5	0.1
	접착제 (파라핀왁스)	파라핀왁스	73,300	3	3	10	10	0.6
	백유	용제	73,300	3	3	10	10	0.6
	기타석유 제품	재생유 (WDF)	73,300	3	3	10	10	0.6

## II. 석탄류

무연탄	국내무연탄 수입 무연탄	98,300	1	10	10	300	1.5	1.5
점결탄	원료용 유연탄	94,600	1	10	10	300	1.5	1.5
기타 역청탄	연료용 유연탄	94,600	1	10	10	300	1.5	1.5
하위 유연탄	아역청탄	96,100	1	10	10	300	1.5	1.5
갈탄	갈탄	101,000	1	10	10	300	1.5	1.5
유혈암 및 역청암	-	107,000	1	10	10	300	1.5	1.5
갈탄 연탄	-	97,500	1	10	10	300	1.5	1.5
특허연료	-	97,500	1	10	10	300	1.5	1.5
코크스	코크스로 코크스	코크스 (석탄)	107,000	1	10	10	300	1.5
	가스 코크스	가스공장 코크스	107,000	1	1	5	5	0.1
콜타르	-	80,700	1	10	10	300	1.5	1.5

연료명	국내 에너지원 기준	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>				N <sub>2</sub> O	
			에너지 산업	제조업 건설업	상업공공	가정 기타	에너지산업 제조업 건설업	상업공공 가정 기타

### Ⅲ. 가스류

부생 가스	가스공장 가스	-	44,400	1	1	5	5	0.1	0.1
	코크스로 가스	코크스가스	44,400	1	1	5	5	0.1	0.1
	고로 가스	고로가스	260,000	1	1	5	5	0.1	0.1
	산소강철로 가스	전로가스	182,000	1	1	5	5	0.1	0.1
천연가스		천연가스 (LNG)	56,100	1	1	5	5	0.1	0.1

### Ⅳ. 기타 화석연료

도시 폐기물 (비-바이오매스 부분)	-	91,700	30	30	300	300	4	4
산업 폐기물	-	143,000	30	30	300	300	4	4
폐유	-	73,300	30	30	300	300	4	4
토탄	이탄	106,000	1	2	10	300	1.5	1.4

### V. 바이오매스 (Biomass)

고체 바이오 연료	목재/목재 폐기물	-	112,000	30	30	300	300	4	4
	아황산염 갯물 (흑액)	-	95,300	3	3	3	3	2	2
	기타 고체바이오 매스	-	100,000	30	30	300	300	4	4
	목탄	-	112,000	200	200	200	200	4	1

연료명		국내 에너지원 기준	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>				N <sub>2</sub> O	
				에너지 산업	제조업 건설업	상업공공	가정 기타	에너지산업 제조업 건설업	상업공공 가정 기타
액체 바이오 연료	바이오 가솔린	-	70,800	3	3	10	10	0.6	0.6
	바이오 디젤	-	70,800	3	3	10	10	0.6	0.6
	기타 액체 바이오연료	-	79,600	3	3	10	10	0.6	0.6
기체 바이오 매스	매립지 가스	-	54,600	1	1	5	5	0.1	0.1
	슬러지 가스	-	54,600	1	1	5	5	0.1	0.1
	기타 바이오가스	-	54,600	1	1	5	5	0.1	0.1
기타 바화석 연료	도시 폐기물 (바이오 매스부분)	-	100,000	30	30	300	300	4	4

\* 주 1) “에너지산업”이란 발전 또는 열 생산, 석유 정제, 가스 제조, 광업 등의 에너지 제조 산업을 의미한다.

주 2) 국내 주요 에너지원 중 B-A유 및 B-B유의 CO<sub>2</sub> 배출계수는 경유와 B-C유의 IPCC 기본 배출계수에 경유와 B-C의 혼합비를 적용하여 활용한다. (별표 20의 [참고] 「연료에 대한 세부설명」 참고)

연료명	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>				N <sub>2</sub> O	
		에너지 산업	제조업 건설업	상업 공공	가정 기타	에너지 산업제	상업 공공 가정 기타
B-A유	75,100	3	3	10	10	0.6	0.6
B-B유	76,400	3	3	10	10	0.6	0.6

## 〈부 록 3〉 MATLAB 코드

### 1. ARIMAX 코드

```
function[Y,x,ar,ni,ma,fit,result_est_arimax,remat_diag1,remat_diag2,remat_res1,remat_res2,remat_namexf, nd, res]= ...
    arimax(date,imat_xi,imat_ts,i_ar,i_int,i_ma,i_cons,remat_namex)

[row_mat,col_mat]=size(imat_ts);
Y=imat_ts(:,1);
X=imat_ts(:,2:end);

x=[];
for i=2:col_mat
    z=[];
    switch imat_xi{i-1}
        case '포함'
            z=[z imat_ts(:,i)];

        case '미포함'
            z=[];
    end
    x=[x z];
end

ar=i_ar;
ni=i_int;
```

```

ma=i_ma;

[row_xi,col_xi]=size(imat_xi);
zz={};
for i=1:row_xi
    z={};
    switch imat_xi{i}
        case '포함'
            z=[z remat_namex(i)];

        case '미포함'
            z={};
    end
    zz=[zz z];
end
remat_namexf=zz;

% ARIMAX estimation
modelY = arima('ARLags', ar, 'D', ni, 'MALags',ma);
switch i_cons
    case '포함'

    case '미포함'
        modelY.Constant=0;
end
[fit,cov] = estimate(modelY,Y(1+ar+ni:end,:),X',x,'print',false);
res = infer(fit,Y(1+ar+ni:end,:),X',x);
result_est_arimax=evalc('print(fit,cov)');

[row_res,~]=size(res);

```

```

[row_Y,~]=size(Y);
nd=row_Y-row_res+1;

% Diagnostic test
[N,~]=size(res);
[row_X,col_X]=size(X);
y=Y-mean(Y);
k=ar+ma+col_X;
% Rsquared
Rsq=1-res'*res/(y'*y);
AdRsq=1-(1-Rsq)*(N-1)/(N-k);
% F-stat
fstat=(Rsq/(1-Rsq))*((N-k)/(k-1));
% Durbin-Watson statistic
diffRes = diff(res);
SSE0 = res'*res;
DW = (diffRes'*diffRes)/SSE0;
% AIC
aic=log((res'*res)/N)+2*k/N;
% SC
sc=log((res'*res)/N)+(k*log(N))/N;
% ADF unit root test for residual
[a_r,b_r,c_r,d_r,e_r]=adftest(res);
% Residual heteroscedasticity
[h_h,pValue_h,stat_h,cValue_h]=archtest(res);
% Ljung-Box Q-test for residual autocorrelation
[h_a,pValue_a,stat_a,cValue_a]=lbqtest(res);
% Normality test for residual
[~,jbp_r,jbstat_r,~] = jbstest(res,[]);

```



```
%remat_diag  
remat_diag1=[Rsq AdRsq fstat]';  
remat_diag2=[DW aic sc]';  
  
%remat_res  
remat_res1=[b_r pValue_a]';  
remat_res2=[pValue_h jbp_r]';  
end
```

## 2. 몬테카를로 시뮬레이션 코드

```
function[remat_euse,remat_co2,remat_ecost,remat_cashflow,remat_main,remat_cprb,remat_main_v,remat_cprb_v,c1,c2]= ...

esim1(dur,ls,r,i_iy,imat_co2coef,imat_enprice,tr,imat_base,imat_ab,imat_add,handles)

str=1000;
bmat=single(1./((1+r).^(0:ls-1)));
vmat=ones(str,1,'single');
hmat=ones(1,ls,'single');

if tr<=str
    j=1;
    str=tr;
else
end

[row_imat_enprice,col_imat_enprice]=size(imat_enprice);
irr_mat=[];npv_mat=[];zmat_base_em=[];zmat_ab_em=[];zmat_redrev_e=[];zmat_redrev_c=[];payback_mat=[];
zmat_add=[];
for j=1:round(tr/str);
    if j==round(tr/str)
        str=str+(tr-round(tr/str)*str);
    else
    end
end
```

```

[row_imat_base,col_imat_base]=size(imat_base);

smat_base_em=zeros(str,ls);smat_base_ce=zeros(str,ls);smat_base_euse=zeros(str,ls);
for i=1:row_imat_base;
    switch imat_base{i,3}
        case '확정'
            z=repmat(cell2mat(imat_base(i,5))*ones(1,ls),str,1);

        case '정규분포'
            z=[];
            for j=1:ls

                r_mat=single(random('normal',imat_base{i,5},imat_base{i,7},str,1));
                z=[z r_mat];
            end

        case '삼각분포'
            z=[];
            for j=1:ls

                pd=makedist('Triangular','a',imat_base{i,5},'b',imat_base{i,7},'c',imat_base{i,9});
                r_mat=single(random(pd,str,1));
                z=[z r_mat];
            end

        case '균등분포'
            z=[];
            for j=1:ls

```

```

r_mat=single(random('Uniform',imat_base{i,5},imat_base{i,7},str,1));
    z=[z r_mat];
end
end

r_c=strmatch(imat_base(i,1),imat_co2coef(:,1),'exact');
em=z*imat_co2coef{r_c,2}*10^-9*(imat_co2coef{r_c,4}
+imat_co2coef{r_c,4}*21+imat_co2coef{r_c,4}*310);
euse=z*imat_co2coef{r_c,3}*10^-6;

r_p=strmatch(imat_base(i,1),imat_enprice(:,1),'exact');

switch imat_enprice{r_p,2}
case '확정'
    zp=[];
    for j=1:ls
        r_mat=single(repmat(imat_enprice{r_p,4},1000,1));
        zp=[zp r_mat];
    end

case '정규분포'
    zp=[];
    for j=1:ls

r_mat=single(random('normal',imat_enprice{r_p,4},imat_enprice{r_p,6},str,1));
        zp=[zp r_mat];
    end

case '삼각분포'
    zp=[];

```

```

        for j=1:ls

pd=makedist('Triangular','a',imat_enprice{r_p,4},'b',imat_enprice{r_p,6},'c',imat_enprice
{r_p,8});

            r_mat=single(random(pd,str,1));
            zp=[zp r_mat];
        end

        case'균등분포'
            zp=[];
            for j=1:ls

r_mat=single(random('Uniform',imat_enprice{r_p,4},imat_enprice{r_p,6},str,1));
                zp=[zp r_mat];
            end

        end
        ce=z.*zp;
        f1=floor(dur/12);
        ce(:,1:f1)=0;
        f2=dur/12-f1;
        ce(:,f1+1)=(1-f2)*ce(:,f1+1);

        smat_base_em=smat_base_em+em;
        smat_base_ce=smat_base_ce+ce;
        smat_base_euse=smat_base_euse+euse;

    end

    [row_imat_ab,col_imat_ab]=size(imat_ab);
    smat_ab_em=zeros(str,ls);smat_ab_ce=zeros(str,ls);smat_ab_euse=zeros(str,ls);

```

```

for i=1:3:row_imat_ab;
    switch imat_ab{i,3}
        case '확정'
            z= repmat(cell2mat(imat_ab(i,5))*ones(1,ls),str,1);

        case '정규분포'
            z=[];
            for j=1:ls
                r_mat=single(random('normal',imat_ab{i,5},imat_ab{i,7},str,1));
                z=[z r_mat];
            end

        case '삼각분포'
            z=[];
            for j=1:ls

pd=makedist('Triangular','a',imat_ab{i,5},'b',imat_ab{i,7},'c',imat_ab{i,9});
                r_mat=single(random(pd,str,1));
                z=[z r_mat];
            end

        case '균등분포'
            z=[];
            for j=1:ls

r_mat=single(random('Uniform',imat_ab{i,5},imat_ab{i,7},str,1));
                z=[z r_mat];
            end
    end
end

```

```

r_c=strmatch(imat_ab(i,1),imat_co2coef(:,1),'exact');
em=z*imat_co2coef{r_c,2}*10^-9*(imat_co2coef{r_c,4}
+imat_co2coef{r_c,4}*21+imat_co2coef{r_c,4}*310);
euse=z*imat_co2coef{r_c,3}*10^-6;

r_p=strmatch(imat_ab(i,1),imat_enprice(:,1),'exact');
switch imat_enprice{r_p,2}
    case '확정'
        zp=[];
        for j=1:ls
            r_mat=single(repmat(imat_enprice{r_p,4},1000,1));
            zp=[zp r_mat];
        end

    case '정규분포'
        zp=[];
        for j=1:ls

r_mat=single(random('normal',imat_enprice{r_p,4},imat_enprice{r_p,6},str,1));
            zp=[zp r_mat];
        end

    case '삼각분포'
        zp=[];
        for j=1:ls

pd=makedist('Triangular','a',imat_enprice{r_p,4},'b',imat_enprice{r_p,6},'c',imat_enprice
{r_p,8});
            r_mat=single(random(pd,str,1));
            zp=[zp r_mat];

```

```

end

case'균등분포'
    zp=[];
    for j=1:ls

r_mat=single(random('Uniform',imat_enprice{r_p,4},imat_enprice{r_p,6},str,1));
        zp=[zp r_mat];
    end
end
ce=z.*zp;
ce(:,1:f1)=0;
ce(:,f1+1)=(1-f2)*ce(:,f1+1);

smat_ab_em=smat_ab_em+em;
smat_ab_ce=smat_ab_ce+ce;
smat_ab_euse=smat_ab_euse+euse;
end

% 자동계산 redrev
ze=single(smat_base_em-smat_ab_em);
zc=single(smat_base_ce-smat_ab_ce);

cashflow_ec=zc; % 에너지 절감수익 cashflow

% 추가 입력변수 imat_add
cashflow_addmat=zeros(str,ls);
cv_mat=zeros(str,ls);
[row_imat_add,col_imat_add] = size(imat_add);

```



```

for i=1:row_imat_add
switch imat_add{i,2}
case '정규분포'
    z=[];
    for j=1:ls

r_mat=single(random('normal',imat_add{i,4},imat_add{i,6},str,1));
        z=[z r_mat];
    end

case '균등분포'
    z=[];
    for j=1:ls

r_mat=single(random('Uniform',imat_add{i,4},imat_add{i,6},str,1));
        z=[z r_mat];
    end

case '삼각형분포'
    z=[];
    for j=1:ls

pd=makedist('Triangular','a',imat_add{i,4},'b',imat_add{i,6},'c',imat_add{i,8});
        r_mat=single(random(pd,str,1));
        z=[z r_mat];
    end

case '확정'
    z=repmat(cell2mat(imat_add(i,4))*ones(1,ls),str,1);

```

```

end

switch imat_add{i,1}
case '운영비'
    szn=-z.*10^6;
    sn=-z.*10^6;
    sn(:,1:f1)=0;
    sn(:,f1+1)=(1-f2)*sn(:,f1+1);

case '기타수익(연간)'
    szn=z.*10^6;
    szin=z.*10^6;
    szin(:,1:f1)=0;
    szin(:,f1+1)=(1-f2)*szin(:,f1+1);

case '기타비용(연간)'
    szn=-z.*10^6;
    szc=-z.*10^6;
    szc(:,1:f1)=0;
    szc(:,f1+1)=(1-f2)*szc(:,f1+1);

case '초기투자비'
    szn=[-z(:,1).*10^6 zeros(str,ls-1)];
    szl=[-z(:,1).*10^6 zeros(str,ls-1)];

case '잔존가치'
    z(:,1:ls-1)=0;
    szn=z.*10^6;
    szs=z.*10^6;
end

```

```

        cashflow_addmat=cashflow_addmat+szn;

    end

    cashflow=cashflow_ec+szl+sn+szin+szc+szs;
    cashflow_e=cashflow-szl;

    cv_mat=cv_mat+sn;
    cs_mat=szs;

    payback=round(-szl(:,1)./sum(cashflow_e,2));

    npv=cashflow*bmat';
    npv_mat=[npv_mat; npv];
    payback_mat=[payback_mat; payback];

    zirr=[];
    for i=1:str
        calirr=irr(cashflow(i,:));
        zirr=[zirr;calirr];
    end
    irr_mat=[irr_mat;zirr]*100;

end

remat_euse=[mean(mean(smat_base_euse),2); mean(mean(smat_ab_euse),2); mean(mean
(smat_base_euse),2)-mean(mean(smat_ab_euse),2)];
remat_co2=[mean(mean(smat_base_em),2); mean(mean(smat_ab_em),2); mean(mean
(smat_base_em),2)-mean(mean(smat_ab_em),2)];
remat_ecost=[mean(mean(smat_base_ce),2)*10^-6;mean(mean(smat_ab_ce),2)*10^-6;m

```

```

ean(mean(smat_base_ce),2)*10^-6-mean(mean(smat_ab_ce),2)*10^-6];

mean(mean(smat_base_ce),2)*10^-6];
%remat_ab_co2=[mean(mean(smat_ab_em),2); mean(mean(smat_ab_ce),2)*10^-6];
%remat_redrev=(remat_base_co2-remat_ab_co2);

crf=(r*(1+r)^ls)/((1+r)^ls-1);
macc_mat=(-npv_mat*crf)./sum(smat_base_em-smat_ab_em,2);
ared_mat=mean(smat_base_em-smat_ab_em,2);
invest_mat=-szi(:,1);
aprofit_mat=mean(cashflow_ec,2);
opcost_mat=-mean(cv_mat,2);
salv_mat=cs_mat(:,end);

[f_npv,x_npv]=hist(npv_mat);
[fc_npv,xc_npv]=ecdf(npv_mat);

[f_payback,x_payback]=hist(payback_mat);
[fc_payback,xc_payback]=ecdf(payback_mat);

[f_macc,x_macc]=hist(macc_mat);
[fc_macc,xc_macc]=ecdf(macc_mat);

[f_ared,x_ared]=hist(ared_mat);
[fc_ared,xc_ared]=ecdf(ared_mat);
[f_invest,x_invest]=hist(invest_mat);
[fc_invest,xc_invest]=ecdf(invest_mat);
[f_aprofit,x_aprofit]=hist(aprofit_mat);
[fc_aprofit,xc_aprofit]=ecdf(aprofit_mat);
[f_opcost,x_opcost]=hist(opcost_mat);

```

```

[fc_opcost,xc_opcost]=ecdf(opcost_mat);

[f_salv,x_salv]=hist(salv_mat);
[fc_salv,xc_salv]=ecdf(salv_mat);

cprb_coef=[0.05,0.2,0.35,0.5,0.65,0.8,0.95,1]';

if min(irr_mat)<0

    x_irr = nan; f_irr = nan;
    xc_irr = nan; fc_irr = nan;

    result_gprb_irr=nan;

    remat_main_irr=[nan;nan;nan;nan;nan];
    remat_static_irr=[nan;nan;nan;nan;nan;nan;nan;nan];
    remat_cprb_irr=[nan;nan;nan;nan;nan;nan;nan;nan];
else
    irr_mat=sort(irr_mat);
    irr_mat=irr_mat(1:end-10);
    [f_irr,x_irr]=hist(irr_mat);
    [fc_irr,xc_irr]=ecdf(irr_mat);
    remat_cprb_irr=[];

    for i=1:8
        zirr=xc_irr(find(fc_irr>=cprb_coef(i), 1 ));
        remat_cprb_irr=[remat_cprb_irr;zirr];
    end

    remat_main_irr=[mean(irr_mat)-1.96*(std(irr_mat)/sqrt(tr));mean(irr_mat)+1.96*(std

```

```

(irr_mat)/sqrt(tr));mean(irr_mat);std(irr_mat);std(irr_mat)/mean(irr_mat)*100];
remat_static_irr=[tr;mean(irr_mat);median(irr_mat);std(irr_mat);std(irr_mat)/mean(irr_
mat)*100;var(irr_mat);min(irr_mat);max(irr_mat)];
end

remat_cprb_npv=[];remat_cprb_payback=[];
remat_cprb_macc=[];remat_cprb_ared=[];
remat_cprb_invest=[];remat_cprb_aprofit=[];
remat_cprb_opcost=[];remat_cprb_salv=[];

for i=1:8
    znpv=xc_npv(find(fc_npv>=cprb_coef(i), 1 ));
    zpayback=xc_payback(find(fc_payback>=cprb_coef(i), 1 ));
    zmacc=xc_macc(find(fc_macc>=cprb_coef(i), 1 ));

    zared=xc_ared(find(fc_ared>=cprb_coef(i), 1 ));
    zinvest=xc_invest(find(fc_invest>=cprb_coef(i), 1 ));
    zaprofit=xc_aprofit(find(fc_aprofit>=cprb_coef(i), 1 ));
    zopcost=xc_opcost(find(fc_opcost>=cprb_coef(i), 1 ));
    zsalv=xc_salv(find(fc_salv>=cprb_coef(i), 1 ));

    remat_cprb_npv=[remat_cprb_npv;znpv];
    remat_cprb_payback=[remat_cprb_payback;zpayback];
    remat_cprb_macc=[remat_cprb_macc;zmacc];

    remat_cprb_ared=[remat_cprb_ared;zared];
    remat_cprb_invest=[remat_cprb_invest;zinvest];
    remat_cprb_aprofit=[remat_cprb_aprofit;zaprofit];
    remat_cprb_opcost=[remat_cprb_opcost;zopcost];
    remat_cprb_salv=[remat_cprb_salv;zsav];
end

```

end

```
remat_main_npv=[mean(npv_mat)-1.96*(std(npv_mat)/sqrt(tr));mean(npv_mat)+1.96  
*(std(npv_mat)/sqrt(tr));mean(npv_mat);std(npv_mat);std(npv_mat)/mean(npv_mat)*  
100];
```

```
remat_main_payback=[mean(payback_mat)-1.96*(std(payback_mat)/sqrt(tr));mean(p  
ayback_mat)+1.96*(std(payback_mat)/sqrt(tr));mean(payback_mat);std(payback_mat  
);std(payback_mat)/mean(payback_mat)*100];
```

```
remat_main_macc=[mean(macc_mat)-1.96*(std(macc_mat)/sqrt(tr));mean(macc_mat)  
+1.96*(std(macc_mat)/sqrt(tr));mean(macc_mat);std(macc_mat);std(macc_mat)/mean  
(macc_mat)*100];
```

```
remat_main=[round(remat_main_npv*10^-6) round(remat_main_irr) round(remat_main_  
payback) round(remat_main_macc)];
```

```
remat_main_ared=[mean(ared_mat)-1.96*(std(ared_mat)/sqrt(tr));mean(ared_mat)+1.  
96*(std(ared_mat)/sqrt(tr));mean(ared_mat);std(ared_mat);std(ared_mat)/mean(ared_  
mat)*100];
```

```
remat_main_invest=[mean(invest_mat)-1.96*(std(invest_mat)/sqrt(tr));mean(invest_  
mat)+1.96*(std(invest_mat)/sqrt(tr));mean(invest_mat);std(invest_mat);std(invest_ma  
t)/mean(invest_mat)*100];
```

```
remat_main_aprofit=[mean(aprofit_mat)-1.96*(std(aprofit_mat)/sqrt(tr));mean(aprofit_  
_mat)+1.96*(std(aprofit_mat)/sqrt(tr));mean(aprofit_mat);std(aprofit_mat);std(aprofit_  
_mat)/mean(aprofit_mat)*100];
```

```
remat_main_opcost=[mean(opcost_mat)-1.96*(std(opcost_mat)/sqrt(tr));mean(opcost_  
_mat)+1.96*(std(opcost_mat)/sqrt(tr));mean(opcost_mat);std(opcost_mat);std(opcost_  
mat)/mean(opcost_mat)*100];
```

```
remat_main_salv=[mean(salv_mat)-1.96*(std(salv_mat)/sqrt(tr));mean(salv_mat)+1.9  
6*(std(salv_mat)/sqrt(tr));mean(salv_mat);std(salv_mat);std(salv_mat)/mean(salv_ma  
t)*100];
```

```
remat_main_v=[round(remat_main_invest)*10^-6 round(remat_main_salv)*10^-6 round  
(remat_main_opcost)*10^-6 round(remat_main_aprofit)*10^-6 remat_main_ared];
```

```
remat_cprb=[round(remat_cprb_npv)*10^-6 round(remat_cprb_irr) round(remat_cprb_  
payback) round(remat_cprb_macc)];
```

```
remat_cprb_v=[round(remat_cprb_invest)*10^-6 round(remat_cprb_salv)*10^-6 round  
(remat_cprb_opcost)*10^-6 round(remat_cprb_aprofit)*10^-6 remat_cprb_ared];
```

```
remat_cashflow=round([(i_1y:i_1y+ls-1);mean(szi)*10^-6;mean(cashflow_ec)*10^-6;me  
an(cashflow)*10^-6-mean(szi)*10^-6-mean(cashflow_ec)*10^-6;mean(cashflow)*10^-6]);
```

```
end
```



### 3. 정수계획법 코드

```
function [remat_eval, remat_input, remat_invpf, remat_oy, remat_ilst remat_einv  
remat_ccost remat_cinv remat_cfinv] = ...  
    linv_new(r,i_iy,i_pr,e_emis,gf,etc,l,p,ci_max,omat, handles)  
  
tf=i_iy+i_pr-1;  
n=tf-i_iy+1;  
  
e_emis=e_emis';  
  
gf=gf';  
etc=etc';  
  
l=e_emis-gf-etc;  
remat_input=[e_emis gf etc l]';  
  
mat=cell2mat(omat(:,2:end));  
  
remat_ilst=["Total";omat(:,1)];  
  
z=(1./((1+r).^(0:n-1)))';  
  
[row,col]=size(mat);  
demat=sort((1:n)', 'descend');  
ov_mat=ones(n,1);  
  
ci=mat(:,4)*10^6;  
cs=mat(:,5)*10^6;  
cv=mat(:,6)*10^6-mat(:,7)*10^6;
```

```

cr=mat(:,8);
ls=mat(:,2);
ta=mat(:,1);
tav=ta-i_iy;
dur=mat(:,3);
ci_max=ci_max*10^6;

zcrf=[];
for i=1:row;
    crf=(r*(1+r)^ls(i))/((1+r)^ls(i)-1);
    zcrf=[zcrf, crf];
end

znpv=[];zirr=[];zpp=[];
for i=1:row;
    % NPV
    npv=(-[ci(i) zeros(1,ls(i)-1)]+[zeros(1,ls(i)-1) cs(i)]-cv(i)*ones(1,ls(i)))*(1./((1+r).^
(1:ls(i))))';
    znpv=[znpv; npv];
    % IRR
    calirr=irr(-[ci(i) zeros(1,ls(i)-1)]+[zeros(1,ls(i)-1) cs(i)]-cv(i)*ones(1,ls(i)));
    if calirr<0
        calirr=nan;
    else
        end
    zirr=[zirr;calirr];
    % Payback
    pp=ci(i)/-cv(i);
    if pp<0
        pp=nan;
    end
end

```

```

        else
        end
        zpp=[zpp;pp];
    end

    uc=(-znpv.*zcrf)./cr;

    remat_eval=[znpv*10^-6 zirr*100 round(zpp*10)/10 round(uc)]; %NPV IRR PAYBACK
    UnitCost

    ci_matt=(ci*ov_mat)';
    ci_mat=fliplr(cumsum(fliplr(ci.*zcrf*ones(1,i_pr).*(ones(row,1)*z1')),2));
    adcv=cv*z';
    f1=floor(dur/12);
    for i=1:row;
        adcv(i,1:f1(i))=0;
    end
    f2=dur/12-f1;
    for i=1:row;
        adcv(i,f1(i)+1)=(1-f2(i))*adcv(i,f1(i)+1);
    end
    cv_mat=fliplr(cumsum(fliplr(adcv),2));
    c_mat=ci_mat'+cv_mat';

    ov=ones(n,1) ;
    zv=zeros(n,1);
    imat=eye(n);
    ltmat=tril(ones(n));

    ucv=zeros(n,row*n+n);

```

```

for j=1:row;
    ucv(j,1+(j-1)*n:j*n)=1;
end
[row_ucv,~]=size(ucv);

if row<2
    ucv=ucv(1,:);
end

eye_uiv=eye(n);
e_uiv=eye_uiv(1:n-1,:);

if row<2
    uiv=[zeros(n-1,n), e_uiv];
else
    uiv=[zeros(n,n*row),eye(n)];
end
[row_uiv,~]=size(uiv);

uiv=[];
for j_uiv=1:row;
    z_uiv=diag(ci_matt(:,j_uiv));
    uiv=[uiv z_uiv];
end
uiv=[uiv zeros(n,n)];

amat=[];
for k=1:row;
    rmat=-cr(k)*ltmat;
    amat=[amat rmat];

```

```

end

c=[c_mat(:)' p*diag(z)];
A=zeros(n*(row+1),n*(row+1));
[row_A,~]=size(A);
A(1:n,:)=[amat -imat];

if row<2
    A(n+1,:)=ucv;
else
    A(n+1:n+row_ucv,:)=ucv;
    A(row_A-row_uiv+1:row_A,:)=uiv;
end

b=zeros(n*(row+1),1);
[row_b,~]=size(b);
b(1:n)=-1;
b(n+1:n+row)=1;

if row<2
    %b(end-1:end,:)=ci_max(1:end-1);
else
    b(row_b-n+1:row_b)=ci_max;
end

Aeq = [];
beq = [];
lb = [zeros(row*n,1); -e_emis*1.3];
ub = [ones(row*n,1); e_emis*1.3];

```

```

for i=1:row;
    ub(n*(i-1)+1:n*(i-1)+tav(i))=0;
end

intcon=1:(row)*i_pr;
intlinprog(c,intcon,A,b,Aeq,beq,lb,ub,[])

rematt=reshape(round(ans),n,row+1);
cure_mat=cumsum(rematt(1:n,1:row))*diag(cr);
sum_cure_mat=sum(cure_mat,2);
remat=[rematt(:,row+1:row+1),sum_cure_mat,cure_mat]';
dv=[i_iy:tf]';
dmat=[dv,rematt];
%remat_invpf=remat(1:2,:);
remat_invpf= [remat(1:2,:);e_emis'-remat(2,:)];

remat_oy=[];
ir=1;
for ir=1:row;
    zx=sortrows(dmat,ir+1);
    remat_oy=[remat_oy;zx(n,1)*zx(n,ir+1)];
end

%{

cpa_mat=rematt(:,end)*diag(p);
cinv_mat=(rematt(:,1:row)*diag(ci))';
cvari_mat=(cumsum(rematt(1:n,1:row))*diag(cv))';
ciner_mat=cinv_mat+cvari_mat;
if row <2

```

```

        sciner_mat=ciner_mat;
    else
        sciner_mat=sum(ciner_mat);
    end
    tcost=cpa_mat+sum(ciner_mat);
    avgcost=tcost/diag(rematt(:,end)+sum_cure_mat);
    remat3=[tcost; avgcost; cpa_mat; sciner_mat; ciner_mat];

    remat_ccost=[tcost*10^-6; avgcost*10^-3; cpa_mat*10^-6; sciner_mat*10^-6];
    %remat_ccost=remat_ccost.*10^-6;

    if row<2
        remat_einv=[remat(3:end,:);remat(3:end,:)];
        remat_cinv=[cinv_mat;cinv_mat];
        remat_cfinv=-[ciner_mat;ciner_mat];
    else
        remat_einv=[sum(remat(3:end,:));remat(3:end,:)];
        remat_cinv=[sum(cinv_mat);cinv_mat];
        remat_cfinv=-[sum(ciner_mat);ciner_mat];
    end

    remat_cinv=remat_cinv.*10^-6;
    remat_cfinv=remat_cfinv.*10^-6;

```

## 안 재 균

現 에너지경제연구원 부연구위원

<주요저서 및 논문>

『Assessment of initial emission allowance allocation methods in the Korean electricity market』, *Energy Economics*, 2014

수시연구보고서 2014-07

### 배출권거래제 대응 의사결정 프로그램 개발 연구

2015년 3월 12일 인쇄

2015년 3월 13일 발행

저 자 안 재 균

발행인 김 현 제

발행처 에너지경제연구원

681-300 울산광역시 중구 종가로 405-11

전화: (052)714-2114(代) 팩시밀리: (052)714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 범신사 (02)503-8737

© 에너지경제연구원 2015 ISBN 978-89-5504-514-7 93320

\* 파본은 교환해 드립니다.

<값 7,000원>





KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE

2015