

QBI LPPL

User Manual

Ver. 1.2

2023. 01.

QUARTERBACK INVESTMENTS

목차

I. 수동모드	2
1. 프로그램 개요	2
2. 시작하기	4
3. LPPL 을 활용한 자산별 버블 붕괴 예측 모델 사용자 매뉴얼 ...	8
4. 프로그램 구조 및 방법론	36
5. Sample Run	45
II. 자동모드	60
1. 프로그램 개요	60
2. 자동모드 사용자 매뉴얼	61
APPENDIX	66

I. 수동모드

1. 프로그램 개요

LPPL을 활용한 자산별 버블 붕괴 예측 모델 개발

자산별 버블 붕괴를 예측하는 통합 GUI 프로그램을 개발하였으며, 기능은 다음과 같이 구분된다.

- 데이터 입력(Input)
- 실행(Run)
- 계산 결과물 추출(Output)
- 보고서 생성(Report)

사용자가 편리하게 분석 대상을 입력하고 구동할 수 있도록 C#으로 GUI를 구현하였고, 각 기능별로 MATLAB 코드 함수를 탑재하였다.

프로그램의 명칭은 QBI LPPL이며, GUI 구성 또는 계산 절차와 같은 사용 방법은 2절 및 3절에서 확인할 수 있다.

개발환경

- 하드웨어: Intel CPU i5, RAM 16GB, HDD 248GB
- 소프트웨어
 - COMPILER
 - Visual Studio 2013
 - MATLAB R2022a

사용환경

- 하드웨어
 - 최소사양: Intel CPU i3 이상, RAM 4GB 이상, HDD 128GB 이상
 - 권장사양: Intel CPU i7 이상, RAM 16GB 이상, HDD 1TB 이상
- OS: Window 7 이상
- 소프트웨어
 - MATLAB Runtime R2022a (9.12) Windows 64bit
 - MS OFFICE 2010 (Excel) 이상

2. 시작하기

<주의사항>

MATLAB이 설치되지 않은 PC의 경우에는 반드시 MATLAB Runtime을 사전에 설치해야 합니다.

아래 웹페이지에서 MATLAB Runtime R2022a (9.12) Windows 64bit 버전을
다운로드 및 설치하시기 바랍니다.

<https://kr.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html>

※ MATLAB Runtime 설치 후 QBI LPPL 프로그램을 설치해야 정상 작동됩니다.

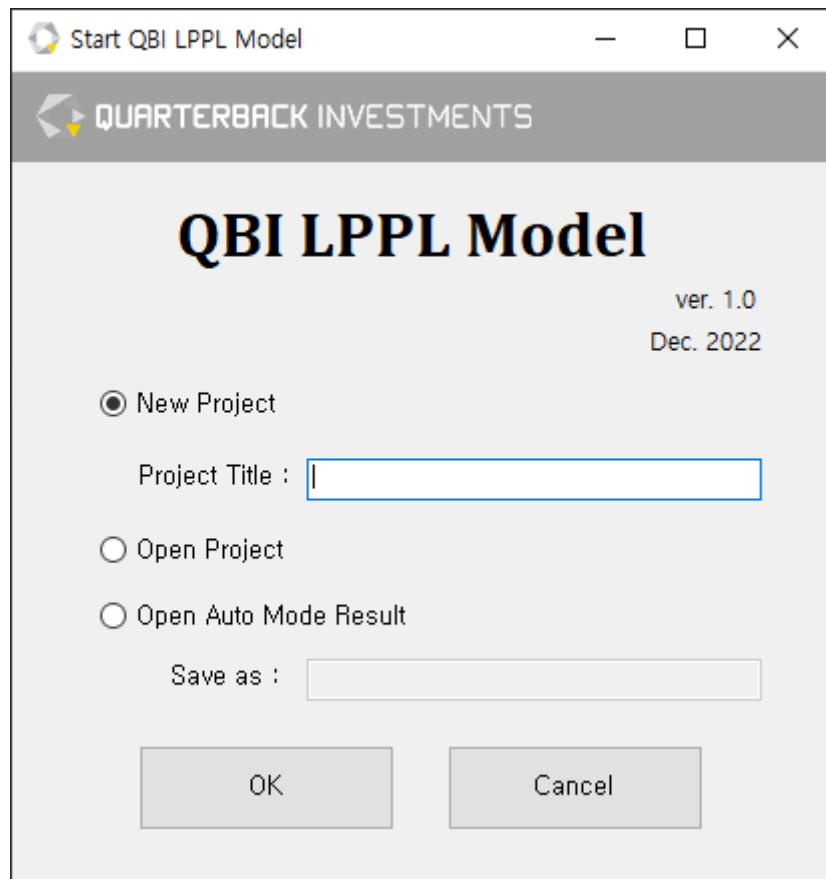
LPPL을 활용한 자산별 버블 붕괴 예측 모델 QBI LPPL 설치 시 Windows 문서 폴더에 LPPL 폴더가 생성되며, 프로그램의 출력 파일은 모두 문서\LPPL\프로젝트명\ 경로에 생성된다. 사용자는 프로젝트 단위로 구동 결과를 저장하여 다시 불러오거나 수정하는 등의 관리를 할 수 있다.

아래 그림과 같은 바탕화면 바로가기 또는 Windows 시작메뉴의 QBI LPPL 아이콘을 클릭하여 실행한다.



실행 시 그림 1과 같이 시작화면이 구동된다.

그림 1. LPPL 시작화면

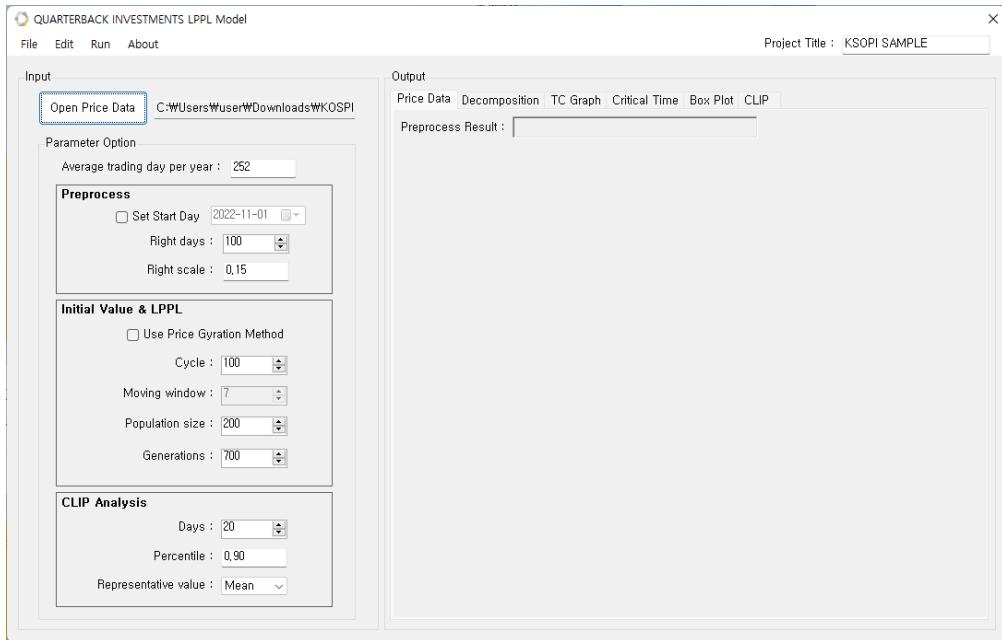


New Project를 선택할 경우 Project Title 텍스트박스에 프로젝트명을 입력해야 하며, 입력한 후 OK 버튼을 클릭하면 문서 LPPL 프로젝트명 경로가 생성되면서 메인화면으로 진입한다.

Open Projec 를 선택할 경우에는 기존에 저장된 프로젝트 파일(*.lpl)을 열어서 프로젝트 정보를 불러오면서 메인화면으로 진입한다.

Open Auto Mode Result 를 선택할 경우에는 자동모드에서 저장된 프로젝트 파일(*.lpa)을 열어서 프로젝트 정보를 불러오면서 메인화면으로 진입한다. Save as 텍스트박스에 프로젝트명을 입력해야 하며, 입력한 후 OK 버튼을 클릭하면 문서 LPPL 프로젝트명 경로가 생성된다.

그림 2. LPPL 메인화면



상단 메뉴바의 File 메뉴에서 새프로젝트 생성(New Project), 프로젝트 저장하기(Save Project)*, 프로젝트 불러오기(Open Project), 프로그램 종료(Exit)를 수행할 수 있다. 프로젝트 저장은 문서\LPPL\프로젝트명 경로에 xml 포맷의 <프로젝트명.lpl> 파일로 저장된다*<File>-<Save Project>를 클릭하지 않으면 프로젝트가 자동으로 저장되지 않는다.

Edit 메뉴에서 기본값 설정(Set Default Value)과 프로젝트 폴더 열기(Open Output Directory)를 실행할 수 있다. 기본값 설정은 Parameter Option의 값을 기본 값으로 설정한다. 프로젝트 폴더 열기는 문서\LPPL\프로젝트명 폴더를 윈도우탐색기로 연다.

Run 메뉴에서 데이터 전처리(Preprocess), LPPL 모델 실행(LPPL), 보고서 생성(Print Report)을 실행할 수 있다. Preprocess 및 LPPL은 GUI 상의 Input 그룹박스에 입력된 Parameter Option을 토대로 실행된다. Print Report는 Preprocess 또는 LPPL 모듈의 실행 이후에 최종적으로 문서\LPPL\프로젝트명 경로에 PDF 포맷의 <프로젝트명.pdf> 보고서 파일을 저장한다.

About 메뉴에서 사용자매뉴얼(User Manual)과 프로그램 정보(About LPPL Model)를 확인할 수 있다. 상단 메뉴바 오른쪽에는 현재 열려 있는 프로젝트명(Project Title)이 표시된다.

3. LPPL을 활용한 자산별 버블 붕괴 예측 모델 사용자 매뉴얼

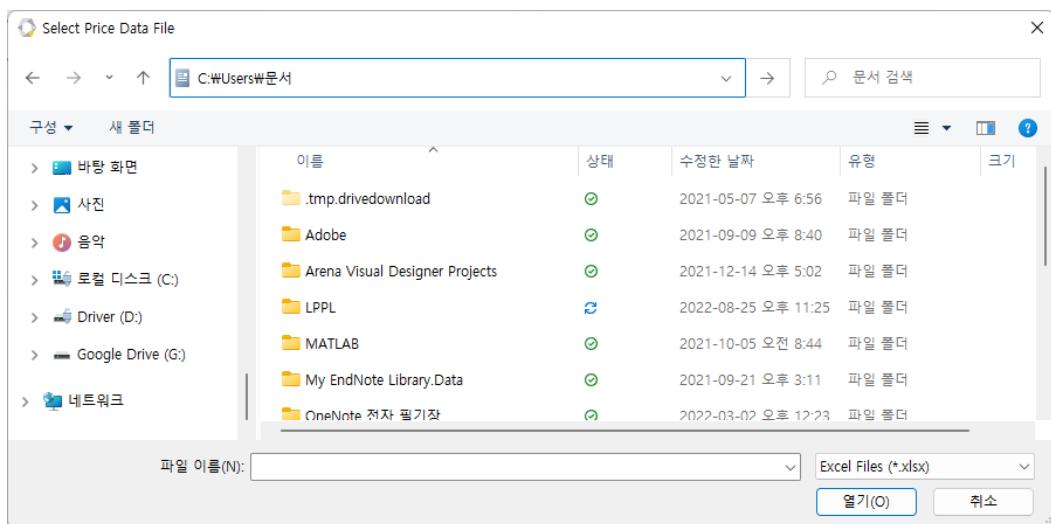
3.1 Input

Input은 자산가격 데이터를 입력(Open Price Data)하고 변수 옵션(Parameter Option)을 선택하는 역할을 수행한다.

가. Open Price Data

Open Price Data 박스를 클릭하면 그림 3과 같이 데이터 파일을 선택할 수 있는 Select Price Data File 창이 실행된다. 사용자는 입력할 데이터 파일을 선택한 뒤 열기를 클릭한다. 이때 입력파일 포맷은 *.xlsx 또는 *.csv이며, 오른쪽 하단의 콤보박스를 통해 선택할 수 있다.

그림 3. Open Price Data File 화면



자산가격 데이터 입력파일 포맷은 그림 4와 같다.

LPPL 모델은 daily price를 기준으로 평가를 수행하므로 첫번째 컬럼에 날짜를 입력하고, 두번째 컬럼에는 해당 날짜의 종가를 입력한다.

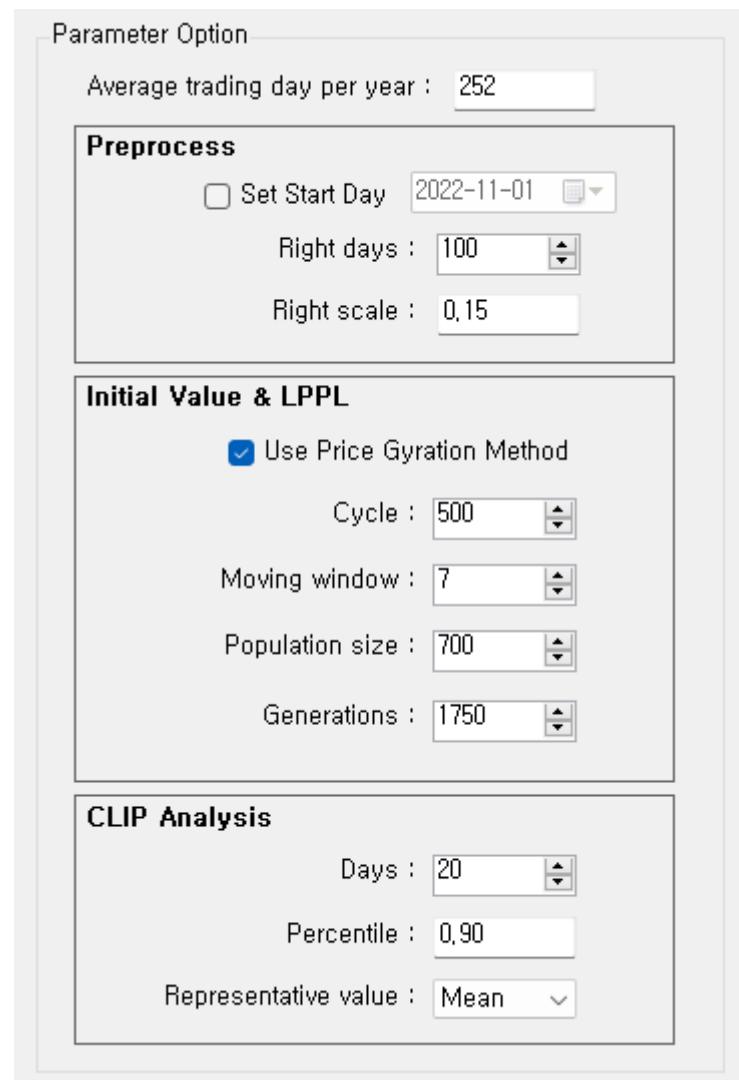
그림 4. Price Data 입력파일 샘플

	A	B
1	Date	Price
2	2014-01-02	4143.07
3	2014-01-03	4131.91
4	2014-01-06	4113.68
5	2014-01-07	4153.18
6	2014-01-08	4165.61
7	2014-01-09	4156.19
8	2014-01-10	4174.67
9	2014-01-13	4113.3
10	2014-01-14	4183.02
11	2014-01-15	4214.88
12	2014-01-16	4218.69
13	2014-01-17	4197.58
14	2014-01-21	4225.76
15	2014-01-22	4243
16	2014-01-23	4218.88
17	2014-01-24	4201.7

4. Parameter Option

Parameter Option 그룹박스에는 그림 5와 같이 매개 변수를 입력하는 화면이 표출된다. 사용자는 각 항목별로 옵션 및 입력인자를 작성할 수 있다.

그림 5. Parameter Option 화면



1) Average trading day per year

Open Price Data 버튼을 통해 입력하는 자산가격 데이터 또는 시장의 성격에 따라서 1년간 평균적으로 기록되는 자산가격의 row 개수를 입력한다. LPPL 모델은 daily price를 바탕으로 평가를 수행하므로 이는 곧 연간 평균 거래일을 의미한다.

또한 LPPL 모델은 실제 날짜와는 무관하게 입력 데이터의 row를 동일한 시간 간격으로 간주하고 평가하므로, 예상 Critical Time 도출 시에 이를 날짜로 다시 변환해야 한다. 따라서 이를 위해 연평균 데이터 개수의 입력이 요구된다.

예를 들어, 한국유가증권시장(KOSPI Market)의 일일 종가 데이터를 입력하는 경우에 입력 데이터는 주말과 공휴일을 제외한 평일 데이터만 포함한다. 따라서 프로그램의 기본값으로 설정된 연평균 평일 수 252를 입력하면 적절히 날짜를 산출하게 된다.

주식시장과 같이 거래가 이루어지지 않는 휴일이 존재하는 경우에는 국가별, 연도별로 공휴일 등 시장 휴일이 상이하기 때문에, 실제 날짜와는 무관하게 입력 데이터의 row를 동일한 시간 간격으로 간주하는 LPPL 모델의 특성상 예측된 Critical Time에 약간의 오차가 존재한다.

따라서 사용자는 출력되는 Critical Time 날짜를 참고하되, 정확한 시점은 TCGRAFH_table.xlsx 파일에 출력되는 Centers 값을 pricedata.xlsx 파일의 첫 번째 날짜에 더하면서 시장 휴일을 정확하게 고려해야 한다.

2) Preprocess

Preprocess 함수 실행에 필요한 매개변수를 선택하며, 항목별 입력사항 정 보는 표 1과 같다.

표 1. Preprocess 입력항목

입력항목	옵션/조건	기본값	설명
Right days	자연수	100	- 아래 Note의 rightdays에 해당*
Right scale	0 이상 1 이하의 실수	0.15	- 아래 Note의 rightscale에 해당*
Set Start Day	날짜	미설정	- 체크박스를 선택 후 입력 데이터에 존재하는 날짜를 선택 시 해당 날짜 이후 데이터를 분석

*Note: We identify a peak based on two conditions: (i) 252 weekdays (Average trading day per year) prior to the peak, there is no value higher than the peak; and (ii) after the peak, stock prices decrease by more than "**rightscale**" within a period of "**rightdays**" weekdays (D. S. Brée and N. L. Joseph, 2013)

3) Initial Value 및 LPPL

Initial Value 및 LPPL 함수 실행에 필요한 매개변수를 선택하며, 항목별 입력사항 정보는 표 2와 같다.

표 2. Initial Value 및 LPPL 입력항목

입력항목	옵션/조건	기본값	설명
Use Price Gyration Method	On/Off	On	<ul style="list-style-type: none"> - 체크박스의 체크를 하는 경우 On 으로, 체크를 끌 경우 Off로 입력됨 - On일 경우에는 개선된 Price Gyration 방법론에 의해 초기 값을 생성하고, Off일 경우에는 랜덤으로 초기 값을 생성함 - On/Off에 따라 Population size 및 Generations 기본값이 달라지고, Off일 경우에는 Moving window 입력이 비활성화됨
Cycle	자연수	500	<ul style="list-style-type: none"> - LPPL 시뮬레이션 횟수
Moving window	자연수	7	<ul style="list-style-type: none"> - 초기 값(Initial Value) 생성 시 이동 창(Moving window) 크기
Population size	자연수	700	<ul style="list-style-type: none"> - 초기 값 생성 수
Generations	자연수	1750	<ul style="list-style-type: none"> - GA 알고리즘 세대 수

4) CLIP

CLIP 함수 실행에 필요한 매개변수를 선택하며, 항목별 입력사항 정보는 표 3과 같다.

표 3. CLIP 입력항목

입력항목	옵션/조건	기본값	설명
Days	자연수	20	<ul style="list-style-type: none">- pricedata.xlsx의 price를 앞당기는 날짜의 길이- 만약 20이라면 최근 분석 시점 기준 20일 전, 40일 전, 60일 전, 80일 전을 분석하여 결과를 비교
Percentile	0.5 초과 1 이하의 실수	0.90	<ul style="list-style-type: none">- CLIP에 표시하는 percentile의 크기
Representative value	'Mean' Or 'Median'	'Mean'	<ul style="list-style-type: none">- CLIP에 표시하는 대푯값

3.2 Run

자산가격 데이터를 입력하고 매개변수를 설정한 뒤, 상단 메뉴바의 <Run>을 통해 Preprocess 및 LPPL 모듈을 순차적으로 실행할 수 있다.

가. Preprocess

Preprocess 모듈은 입력한 자산가격 데이터가 LPPL 분석에 적합한지를 판별 한다.

1) 실행

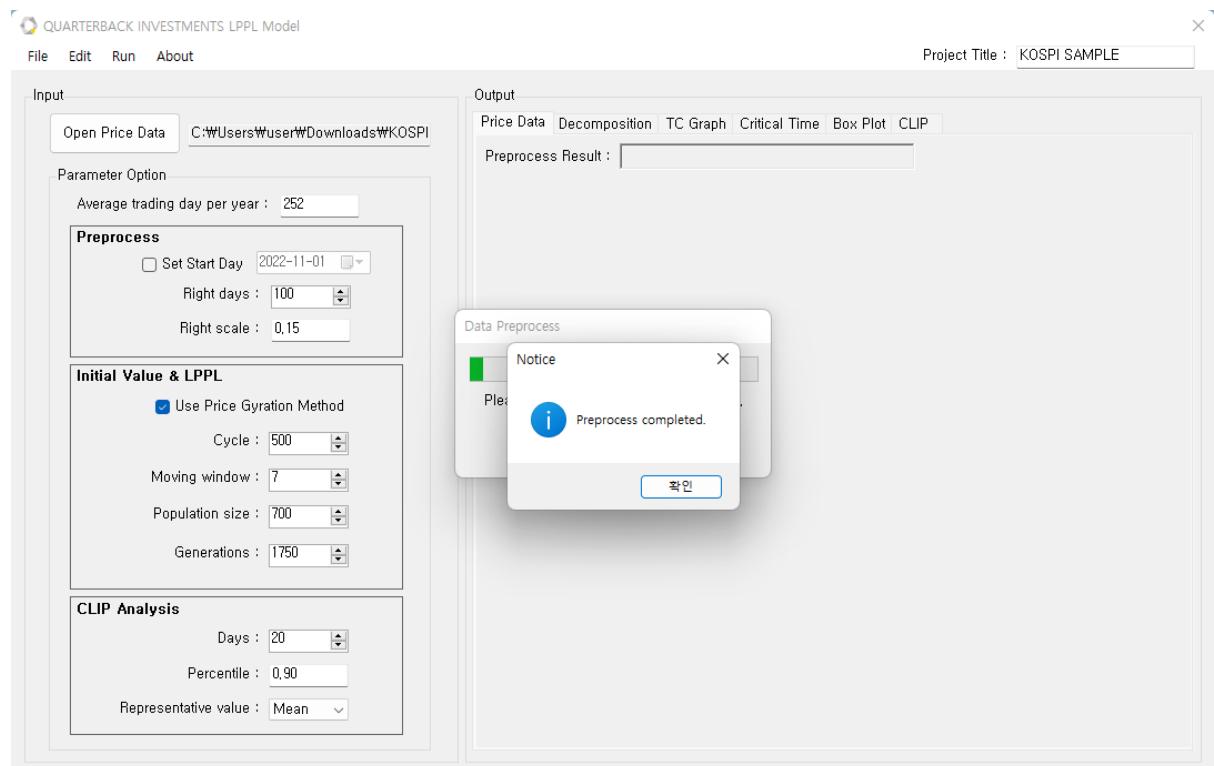
Preprocess의 실행은 상단 메뉴바의 <Run> - <Preprocess>를 클릭하여 수행한다. 입력이 미비한 부분이 있을 경우에는 경고 메시지가 팝업된다.

실행 과정에서 MATLAB 코드가 생성하는 Figure 창이 몇 차례 팝업되었다가 자동으로 종료된다.

정상적으로 구동이 완료되면 그림 6과 같이 메시지가 표출되고, 문서 **LPPL 프로젝트명** 폴더에 출력파일이 생성된다.

Preprocess 모듈의 구동시간은 일반적인 PC 환경에서 1분 미만이나, 이는 PC 성능과 입력자료의 기간에 따라 달라질 수 있다.

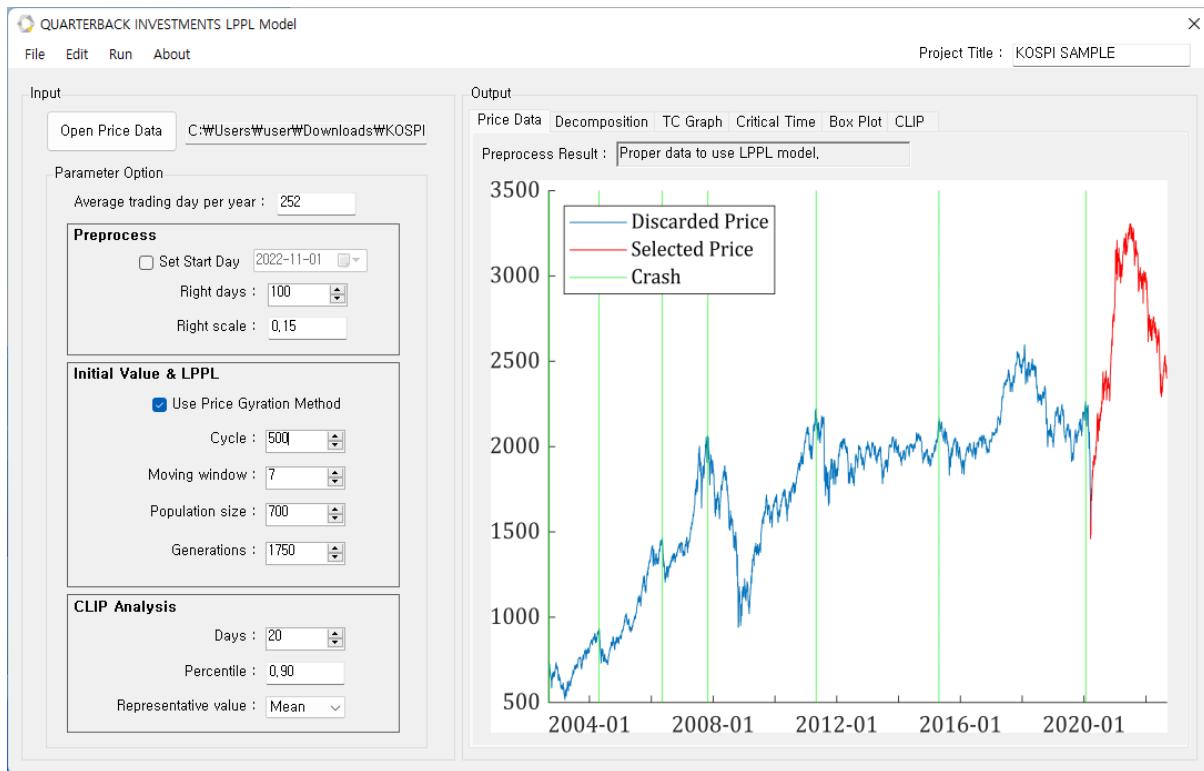
그림 6. Preprocess 구동



2) 출력

Preprocess 구동이 완료되면 그림 7과 같이 메인화면 오른쪽 Price Data 탭에 차트가 생성되고, 출력파일 정보는 표 3과 같다.

그림 7. Preprocess 출력



차트에서 초록색 선은 과거의 자산가격 붕괴시점을 의미한다. 빨간색 실선은 LPPL 분석에 활용된 구간, 파란색 실선은 분석에 활용되지 않은 구간을 의미한다.

Preprocess 모듈에서는 입력한 데이터가 자산가격 붕괴를 예측하기 위해 적합한 형태인지를 판단하고 필요한 데이터 구간을 선별한다. LPPL 모델은 입력한 자산가격 데이터 중에서 가장 마지막 붕괴시점 이후의 데이터를 활용하여 분석을 수행한다. 마지막 붕괴시점 이후 자산가격이 최저인 시점부터 입력 데이터로 활용하게 되고(표 4의 pricedata.xlsx), 그 기간이 입력한 연평균 거래일 (Average trading day per year) 이상 확보될 때 LPPL 분석을 권장한다.

입력한 데이터가 LPPL 분석에 적합하지 않다고 판단을 권장하는 경우는 주

로 두 가지 원인에 의해 발생한다. 이런 경우에는 LPPL 분석 결과가 로버스트 (robust)하지 않은 것으로 판단된다. 이때, 사용자는 Price Data 전처리 결과를 검토하여 분석에 적절한 구간을 선별하거나 다른 데이터를 활용하는 것이 바람직하다.

1. 마지막 자산가격 붕괴 이후 지속적으로 가격이 하락하는 경우: 최저점이 입력한 데이터 중 마지막 시점이므로 LPPL 모델에 입력할 데이터가 부족하게 됨.
2. 최저점이 마지막 시점은 아니지만 선별된 기간이 연평균 거래일 이하인 경우: LPPL 모델의 입력이 충분하지 않아 결과의 신뢰도가 떨어지게 됨.

표 4. Preprocess 출력파일

함수	출력파일	설명
Preprocess	rawdata.xlsx	<ul style="list-style-type: none"> - 입력한 자산가격 데이터 -xlsx 포맷으로 입력한 경우에는 파일명을 변경하여 파일을 복사하고, csv 포맷으로 입력한 경우에는xlsx 포맷으로 변환하여 저장
	pricedata.xlsx	<ul style="list-style-type: none"> - 전처리를 통해 선별된 분석에 활용할 데이터
	Price_figure.jpg	<ul style="list-style-type: none"> - pricedata.xlsx 데이터 차트

나. LPPL

LPPL 모듈은 초기 파라미터 값을 생성하는 Initial Value 함수와, 초기 파라미터 값을 최적화하는 LPPL 함수를 실행시킨다.

1) 실행

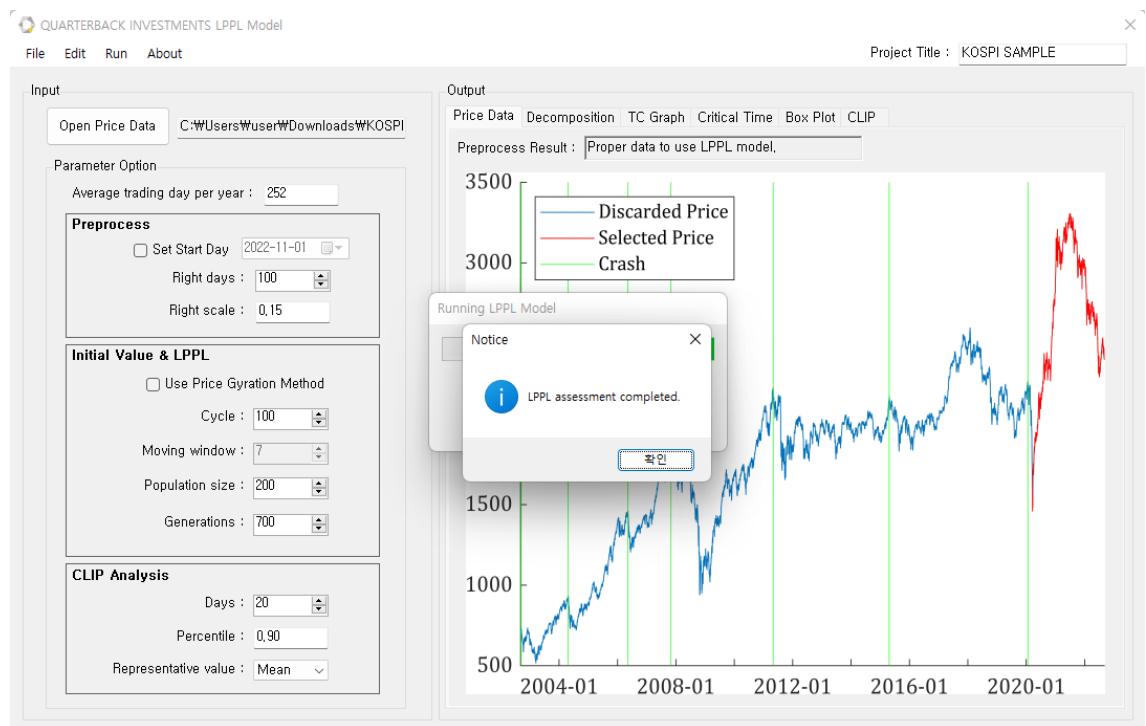
LPPL의 실행은 상단 메뉴바의 <Run> - <LPPL>을 클릭하여 수행한다.

정상적으로 구동이 완료되면 그림 8과 같이 메시지가 표출되고, 문서 **LPPL 프로젝트명** 폴더에 출력파일이 생성된다.

LPPL 모듈의 구동시간은 입력자료의 기간과 Cycle, Population size, Generations 등의 옵션에 영향을 받는다. 또한, Use Price Gyration Method 옵션 적용 여부에 따라 크게 달라진다.

일반적인 PC 환경에서 Use Price Gyration Method 옵션을 사용하고 기본 옵션을 입력할 경우 분석 데이터 길이에 따라 약 3~4시간 정도 소요된다. Use Price Gyration Method 옵션을 사용하지 않는 경우에는 약 1~2시간 가량 소요된다.

그림 8. LPPL 구동



2) 출력

LPPL 구동이 완료되면 그림 9, 10, 11, 12와 같이 화면 오른쪽의 Output 박스에 각 출력 파일이 알맞은 탭에 표시되며, 출력파일 정보는 표 5와 같다.

그림 9. LPPL 구동 후 Decomposition 출력

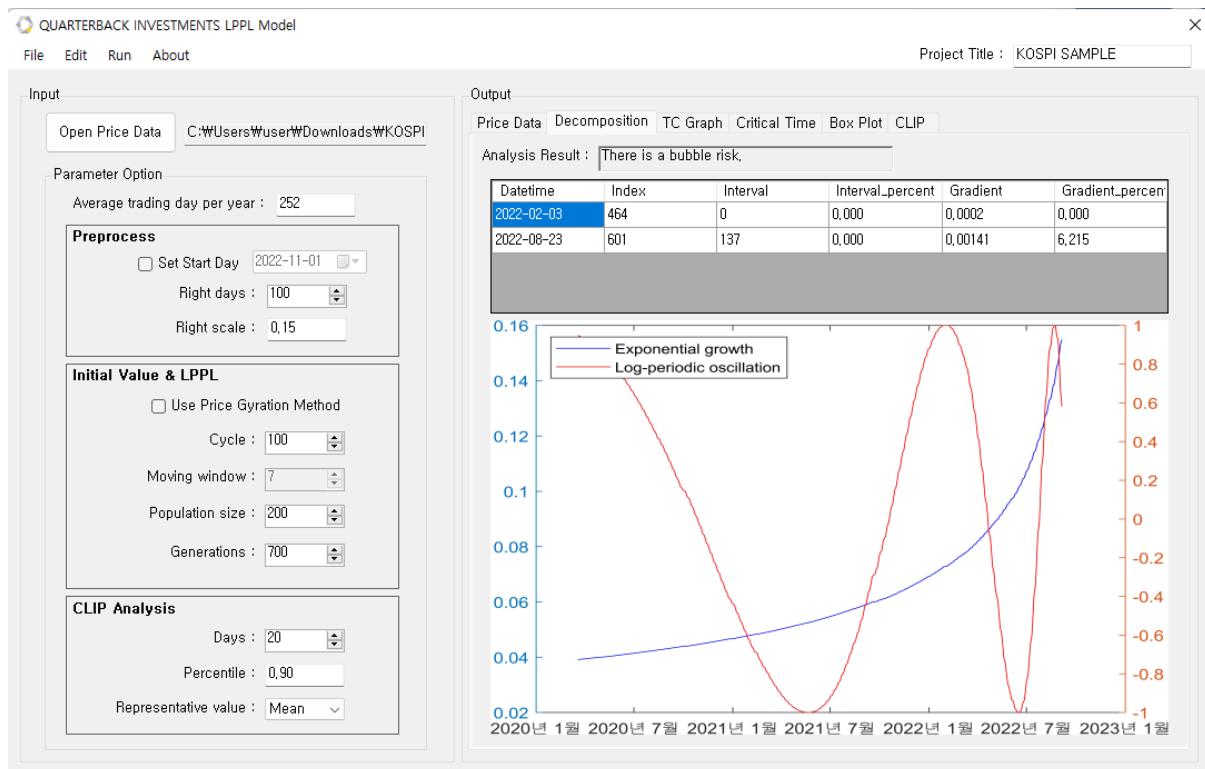


그림 10. LPPL 구동 후 TC Graph 출력

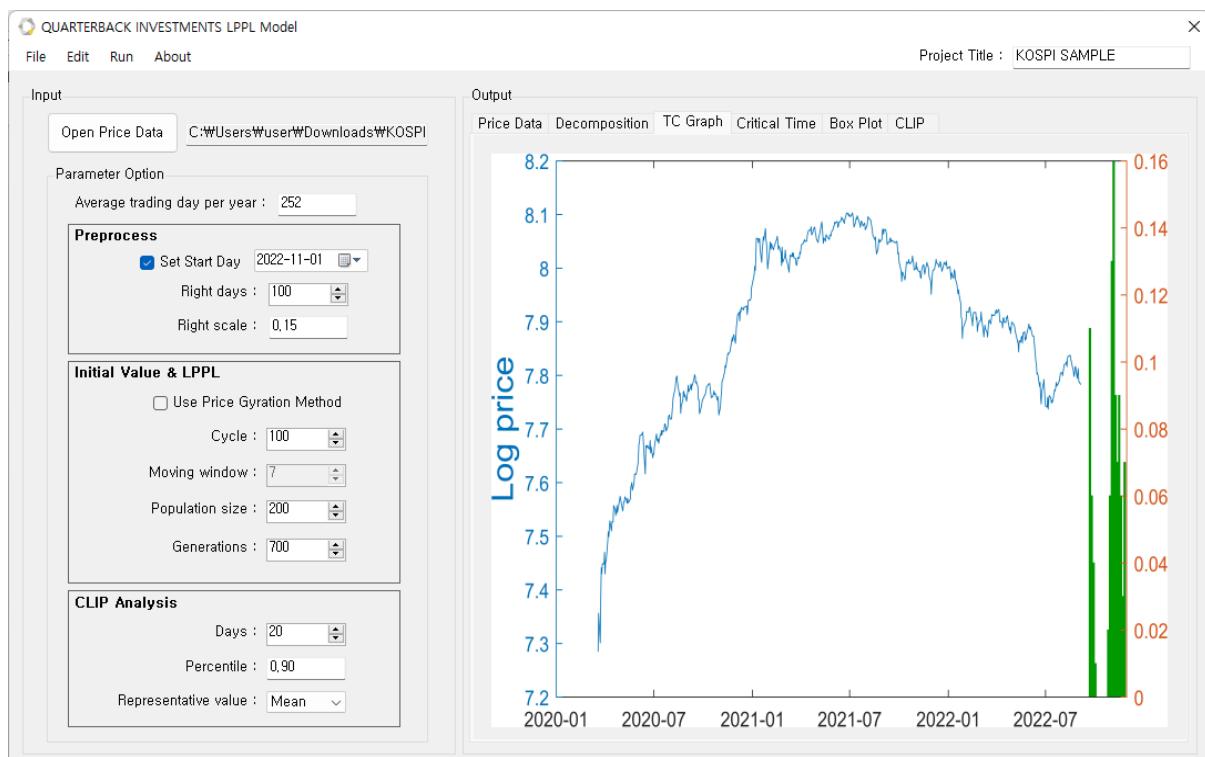


그림 11. LPPL 구동 후 Critical Time 출력

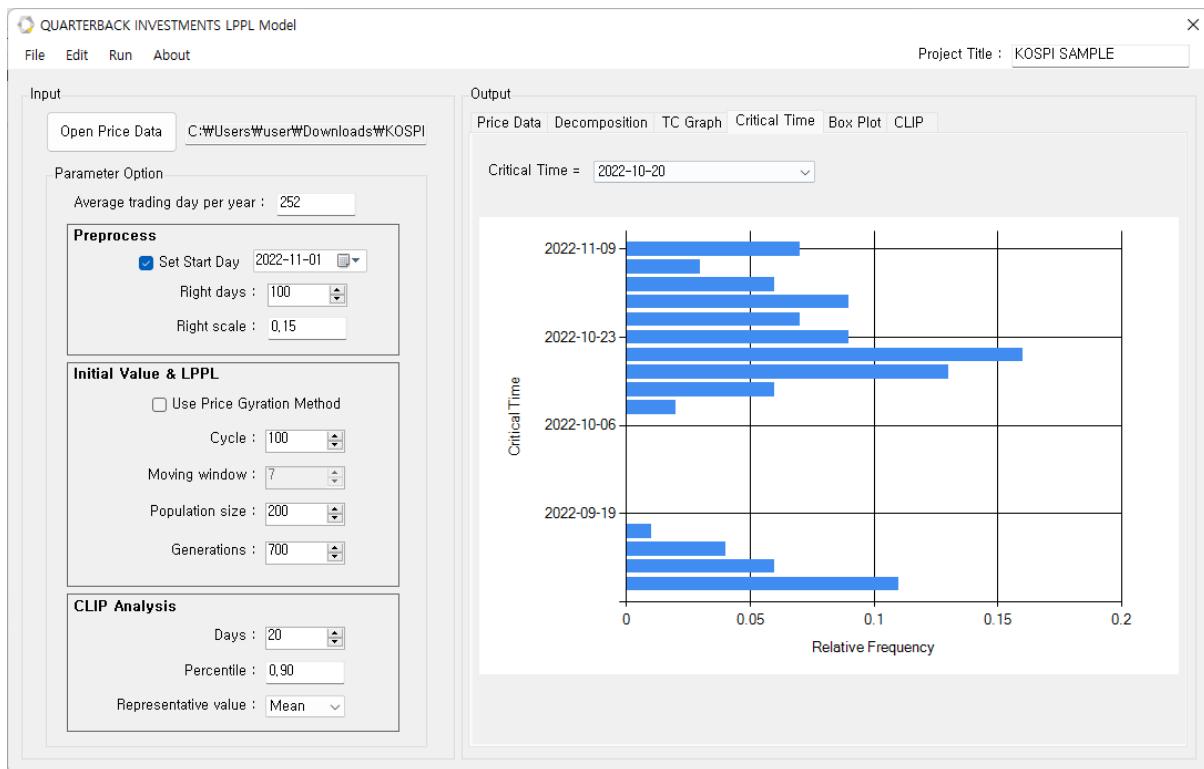


그림 12. LPPL 구동 후 Box Plot 출력

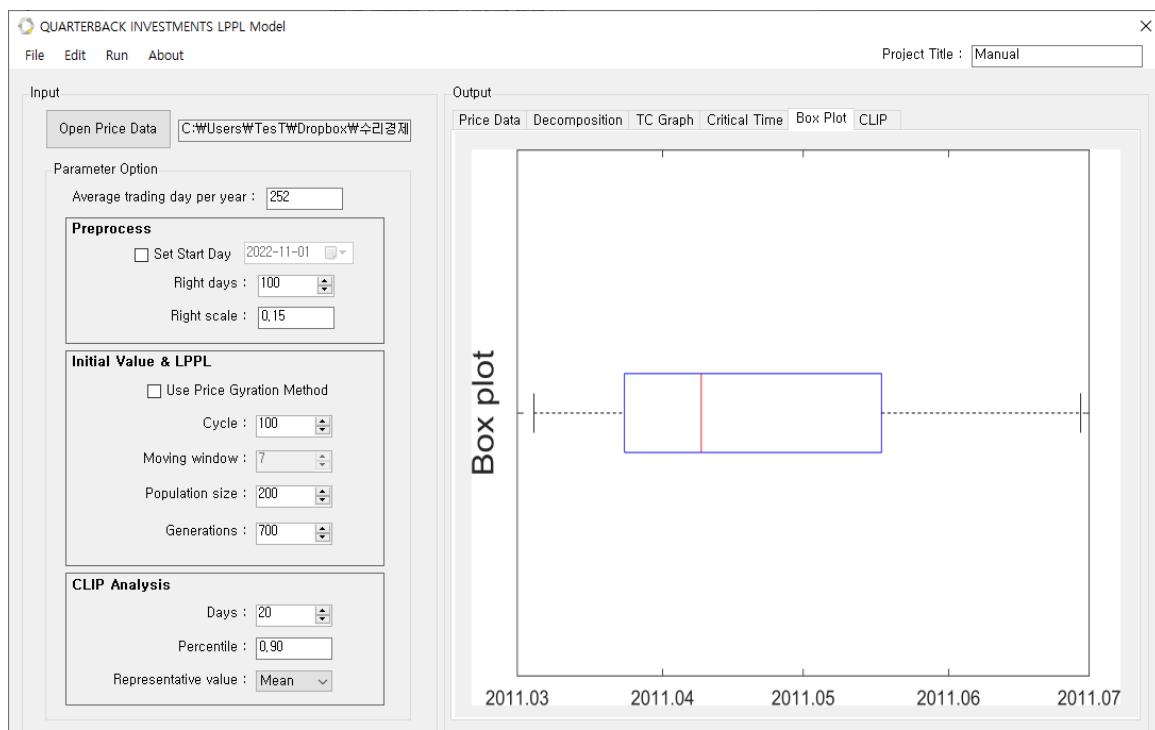


표 5. LPPL 출력파일

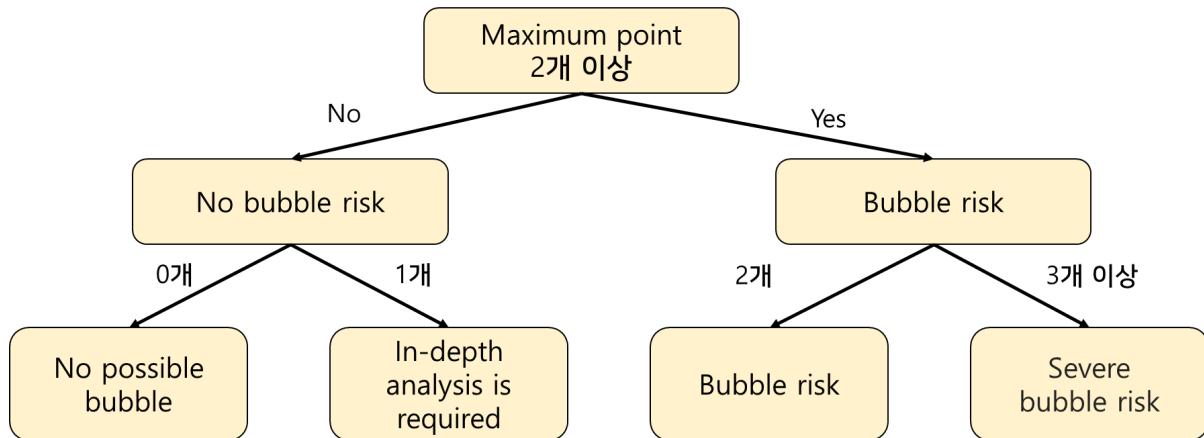
함수	출력파일	설명
LPPL	LPPL_table.jpg	- 최적화 파라미터
DECOMPOSITION	DECOMPOSITION_figure.jpg	- Decomposition 출력 그림
	DECOMPOSITION_table.xlsx	- Decomposition 출력 값
	DECOMPOSITION_Result.xlsx	- Decomposition 결과 값
T _c graph	TCGRAPH_date.png	- Critical Time 확률분포 차트
	TCGRAPH_figure.jpg	- T _c graph 출력 그림
	TCGRAPH_table.xlsx	- T _c graph 출력 값
	TCGRAPH_table_date.csv	- Critical Time 확률분포
Relative error	RELATIVEERROR_figure.jpg	- Relative error 차트
	RELATIVEERROR_table.xlsx	- Relative error 출력 값
Box Plot	BOXPLOT_figure.jpg	- Box plot 출력 그림

3) Rule-based Decision Tree

LPPL 구동이 완료되면 그림 9와 같이 화면 오른쪽의 Output 박스 상단에 위치한 Analysis Result (분석 결과)에 버블 상태를 판단하는 결과가 출력된다. 본 분석 결과는 200여 가지의 케이스 분석(Appendix 참조)과 전문가 의견으로 도출된 Rule-based Decision Tree를 통해 판단된 결과이다. Rule-based Decision Tree는 그림 13과 같다.

그림 13. LPPL Analysis Result Decision Tree

- Bubble risk condition: Gradient Percent 200% 이상



Rule-based Decision Tree는 DECOMPOSITION 분석 결과를 기반으로 한다. 지수적 성장(super exponential growth)과 로그 주파수(log frequency)를 분석하는 DECOMPOSITION의 결과는 DECOMPOSITION_figure에서 그림으로 확인할 수 있으며 “DECOMPOSITION_Result.xlsx”에서 결과값을 자세히 확인할 수 있다.

가격의 변동을 나타내는 로그 주파수의 Maximum point의 개수에 따라 버블의 상태가 우선 판단된다. Maximum point의 개수가 0개일 때는 버블이 없다고 판단하며, Maximum point의 개수가 1개일 때는 버블이 있지만 위험하지 않다고 판단하며 심층분석을 필요로 한다. Maximum point의 개수가 2개일 때는 버블 위험이 있다고 판단하지만, 이때 Gradient percent가 200%를 넘지 못한다면 버블 위험이 없다고 판단하며 심층분석을 필요로 한다. Maximum point의 개수가 3개 이상일 때는 심각한 버블이 있다고 판단하며, 이때에도 만약 Gradient percent가 200%를 넘지 못한다면 버블 위험이 없다고 판단하며 심층분석을 필요로 한다.

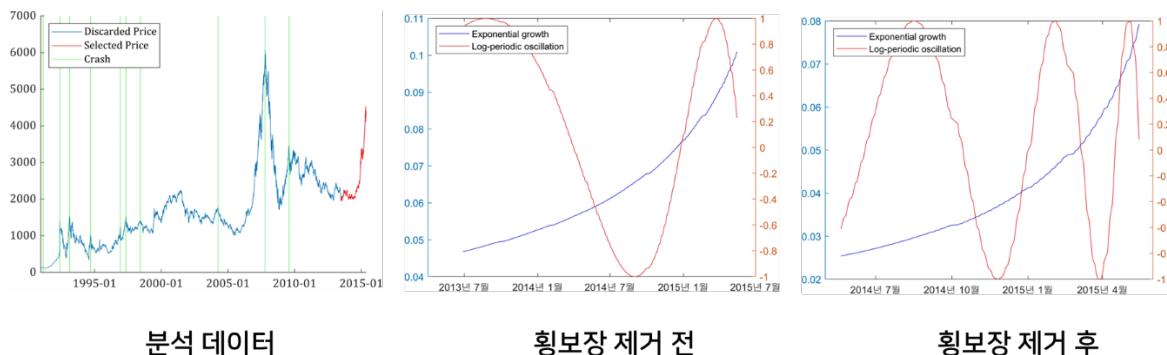
4) 심층분석

심층분석을 통해 기존의 결과가 항상 변화하는 것은 아니지만, 특정 경우에 서 심층분석이 더 정확한 분석 결과를 제공할 수 있기 때문에 아래의 3가지 방법을 제안한다.

a) 횡보장 제외

분석데이터에 그림 14와 같이 횡보장이 포함되어 있을 경우 금융 버블 분석 결과가 정확하지 않을 수 있다. 따라서 횡보장을 제거한 후 분석을 다시 진행해보는 것을 제안한다. 그림 14에서 분석 데이터는 빨간색으로 표시된 부분이다.

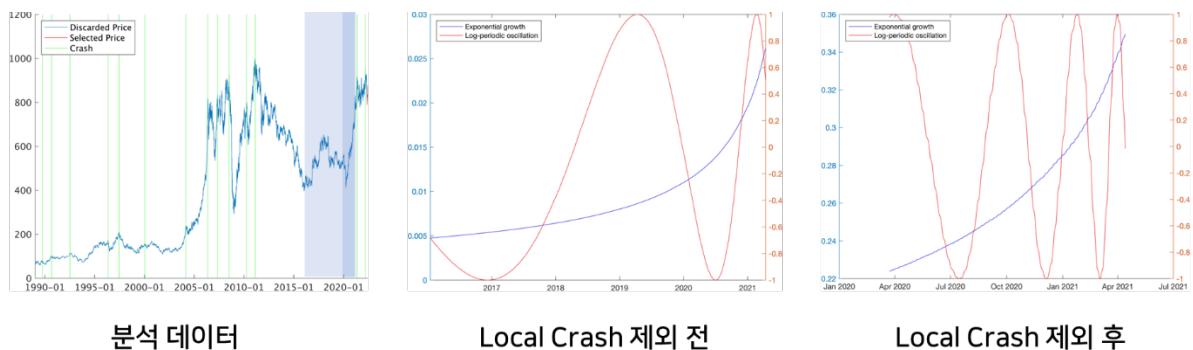
그림 14. 횡보장 제외 예시(SSEC)



b) Local Crash 제외

분석데이터에 그림 15와 같이 Local Crash가 포함되어 있을 경우 금융 버블 분석 결과가 정확하지 않을 수 있다. 따라서 Local Crash를 제거한 후 분석을 다시 진행해보는 것을 제안한다. 그림 15에서 심층분석 전 분석 데이터는 연한 파랑색으로 표시된 부분이며, 심층분석에 해당하는 데이터는 진한 파랑색으로 표시된 부분이다.

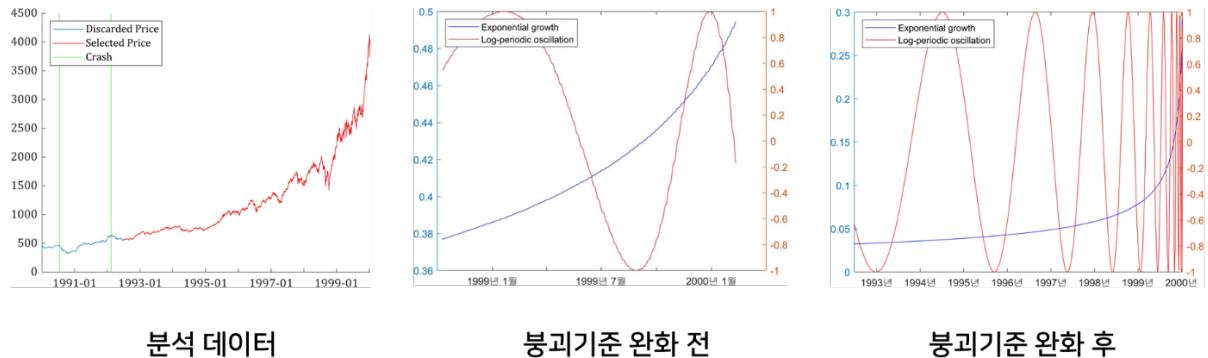
그림 15. 횡보장 제외 예시(Bloomberg Copper Subindex Total Return)



c) 붕괴기준 변경

사용자가 초기에 설정한 과거 붕괴 기준에 따라 분석 데이터가 변화하기 때문에, 금융 버블 분석 결과가 정확하지 않을 수 있다. 따라서 분석 데이터의 금융 버블이 모두 포함될 수 있도록 붕괴기준을 변경하여 다시 진행해보는 것을 제안한다. 그림 15에서 심층분석 전 분석 데이터는 연한 파랑색으로 표시된 부분이며, 심층분석에 해당하는 데이터는 진한 파랑색으로 표시된 부분이다.

그림 16. 붕괴기준 변경 예시(S&P 500)



다. CLIP Analysis

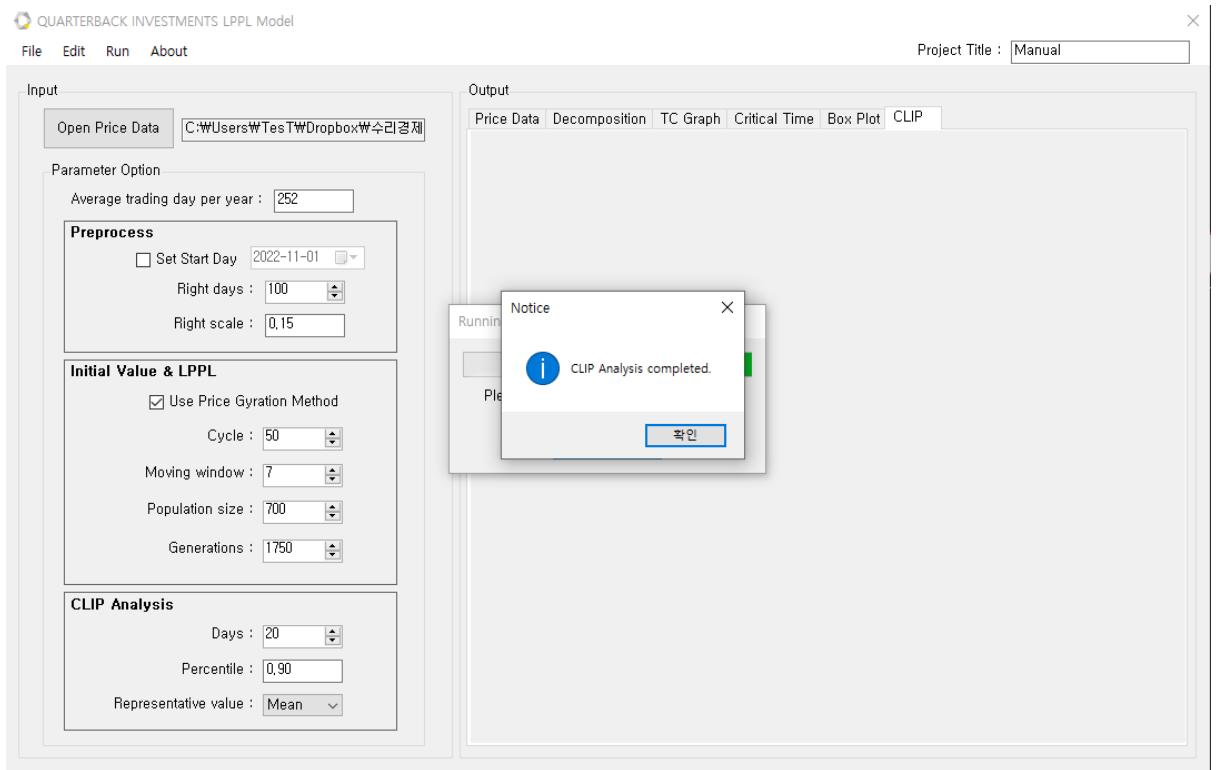
CLIP 모듈은 LPPL을 입력한 파라미터에 따라 4번 반복 실행하는 CLIP 함수를 실행시킨다.

1) 실행

LPPL의 실행은 상단 메뉴바의 <Run> - <CLIP>을 클릭하여 수행한다.

정상적으로 구동이 완료되면 그림 17과 같이 메시지가 표출되고, 문서 **WLPPLW프로젝트명W 폴더**에 출력파일이 생성된다. CLIP 모듈의 구동시간은 LPPL 모듈 구동시간의 약 4배 정도 소요된다.

그림 17. CLIP Analysis 구동



2) 출력

CLIP 구동이 완료되면 그림 18와 같이 화면 오른쪽의 Output 박스에 위치한 CLIP 부분에 표시되며, 출력파일 정보는 표 6와 같다.

그림 18. CLIP Analysis 출력

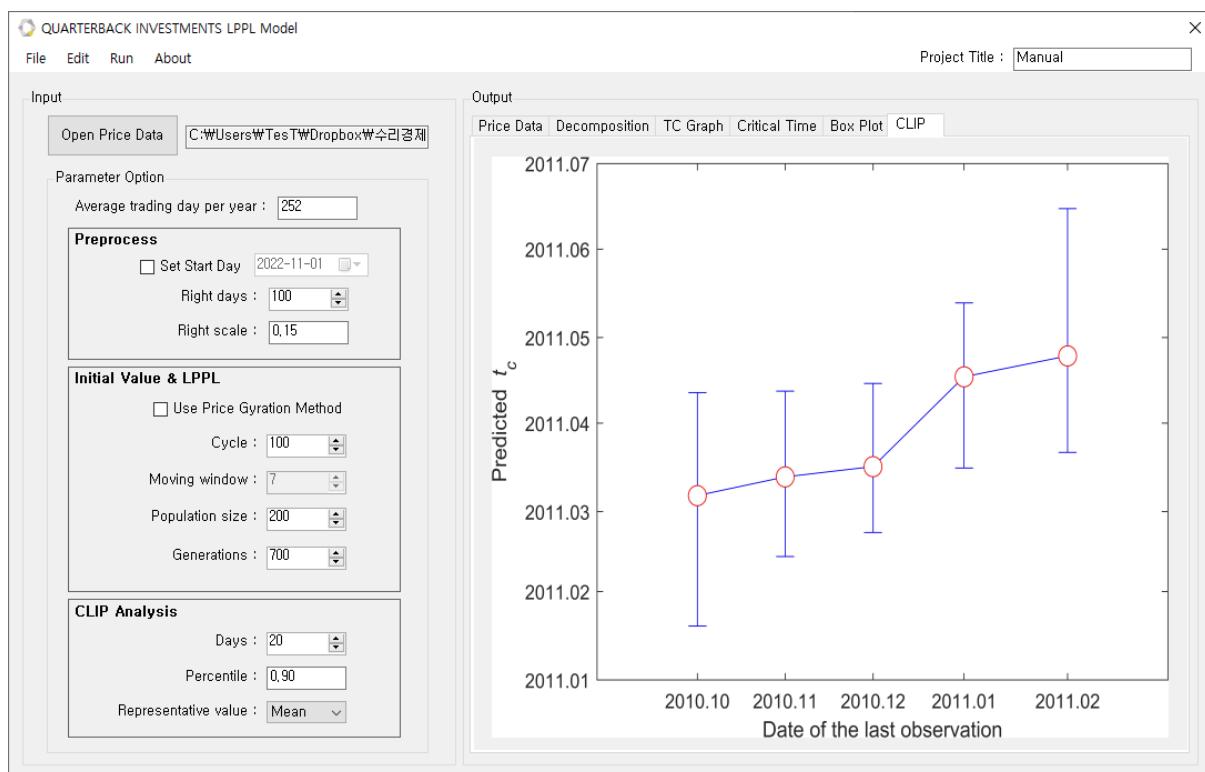


표 6. CLIP Analysis 출력파일

함수	출력파일	설명
CLIP Analysis	CLIP_figure.jpg	- CLIP 출력 그림
	DECOMPOSITION_figure_Nago.jpg	- 초기 분석 지점으로부터 $N \times Days$ 과거 지점에서의 DECOMPOSITION 출력 그림
	DECOMPOSITION_Result_Nago.xlsx	- 초기 분석 지점으로부터 $N \times Days$ 과거 지점에서의 DECOMPOSITION 결과 값
	DECOMPOSITION_table_Nago.xlsx	- 초기 분석 지점으로부터 $N \times Days$ 과거 지점에서의 DECOMPOSITION 출력 그림
	TCGRAPH_figure_Nago.jpg	- 초기 분석 지점으로부터 $N \times Days$ 과거 지점에서의 T_c graph 출력 그림
	TCGRAPH_table_Nago.xlsx	- 초기 분석 지점으로부터 $N \times Days$ 과거 지점에서의 T_c graph 출력 값

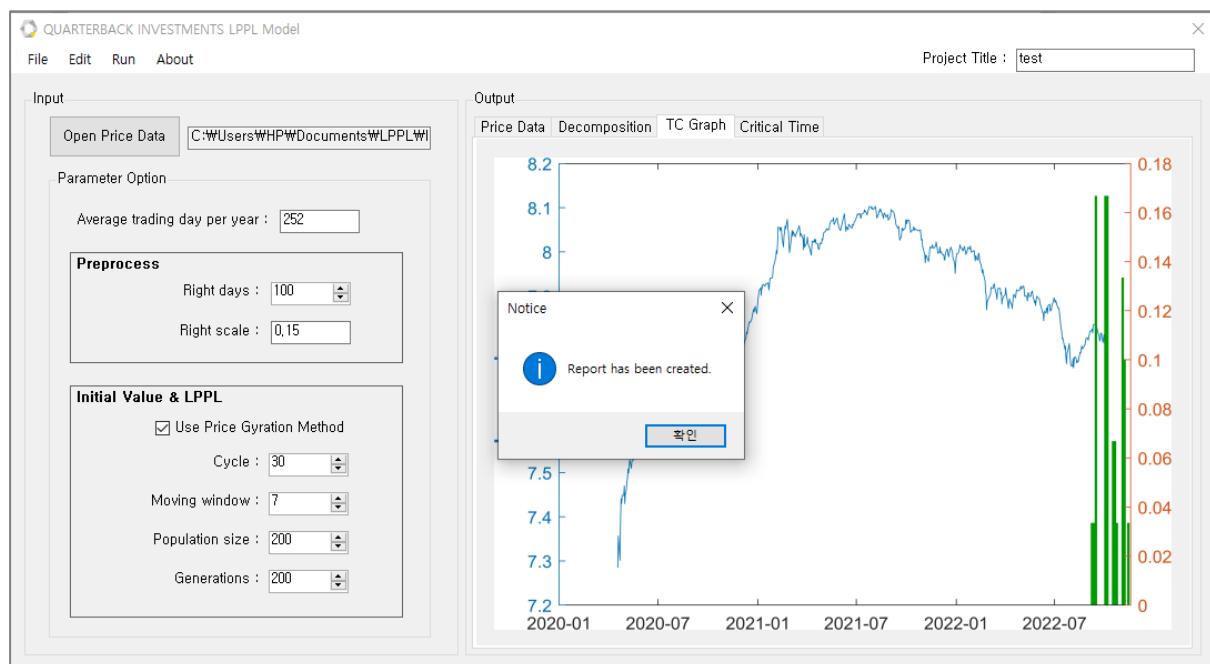
3.3 Report

1) 실행

Preprocess 및 LPPL 모듈을 실행한 뒤, 상단 메뉴바의 <Run> - <Print Report>를 클릭하여 보고서를 생성한다. 보고서 생성에 필요한 데이터 중 저장되어 있지 않은 것이 있다면 경고 메시지가 팝업 된다.

Print Report 구동이 정상적으로 완료되면 그림 19과 같이 메시지가 표출되고, 문서 LPPL 프로젝트명 폴더에 보고서 파일(report.pdf)이 생성된다.

그림 19. Print Report 구동



2) 보고서

보고서는 Price Data – Summary – Input – Detailed Result로 구성되며, 각 페이지마다 결과 해석에 도움을 주는 설명이 추가되어 있다. 단, 전처리 결과로 입력한 자산가격 데이터가 LPPL 분석에 적합하지 않은 것으로 판단되는 경우에는 Price Data만 보고서에 저장하여 출력 가능하다.

가) Price Data

입력한 자산가격 데이터의 차트를 포함해서 LPPL 분석에 적합한지를 판단한 결과를 보여준다. 그림 20은 Price Data 리포트 예시이다.

그림 20. Price Data 리포트 예시



나) Summary

프로그램 구동 결과의 요약본으로 LPPL의 핵심 내용인 Critical Time의 확률을 보여준다. 그림 21는 Summary 리포트 예시이다.

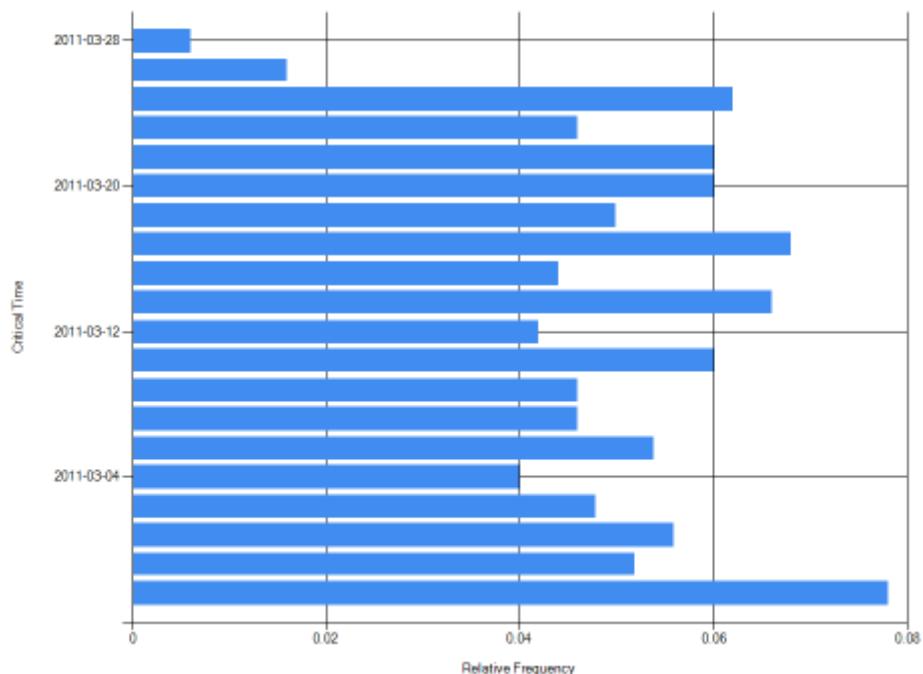
그림 21. Summary 리포트 예시

Summary

- 버블 위험도 : 심각한 붕괴 위험이 존재합니다.
- 가장 확률이 높은 Critical Time은 아래와 같습니다.

2011-02-25

- 산출된 Critical Time과 각각의 확률은 아래 그림과 같습니다.



3) Input

분석에 사용한 입력 데이터 파일과 Function 별 구동에 사용한 매개변수를 요약한 표를 제시한다. 그림 22은 Input 리포트 예시이다.

그림 22. Input 리포트 예시

Input

- Price Data : C:\Users\TesT\Dropbox\수리경제연구실 학생구성원\LPPL\쿼터백 자산운용\최종코드\코스피지수 내역_Cse2.xlsx
- Average trading day per year : 252
- Use of Price Gyration Method : False
- Use of CLIP Analysis : False

Function	Parameter	Value
PREPROCESS	Right days	100
	Right scale	0.15
	Set Start Day	False
	Start Day	nothing
INITIALVALUE & LPPL	Cycle	500
	Moving window	7
	Population size	10
	Generations	35

4) Detailed Result

각 Function의 출력 결과를 제시하고 분석에 필요한 정보를 제공한다. Function의 순서는 Initial Value – LPPL – Decomposition – Tc Graph – Relative Error – Box plot - CLIP 순이다. 그림 23는 Detailed Result 리포트 예시이다.

그림 23. Detailed Result 리포트 예시

Detailed Result

- Initial Value Output

INITIALVALUE Table

A0	B0	Tc0	Beta0	C0	Omega0	Phi0	mw
8.025	0.000	567.447	1	0	4.584	-4.629	6
8.026	-0.001	565.189	1	0	3.867	-1.343	4
8.026	0.000	567.447	1	0	4.584	-4.629	5
8.026	0.000	567.447	1	0	4.584	-4.629	5
8.026	-0.001	565.189	1	0	3.867	-1.343	4
8.026	-0.001	565.189	1	0	3.867	-1.343	4
8.025	0.000	567.447	1	0	4.584	-4.629	6
8.026	0.000	567.447	1	0	4.584	-4.629	5
7.978	0.000	473.800	1	0	5.015	-4.726	7
8.115	-0.001	739.333	1	0	26.054	-143.882	3

Only random 10 rows were printed.

Please see INITIALVALUE_table.xlsx file for the full table.

4. 프로그램 구조 및 방법론

4.1 프로그램 구조

QBI LPPL 코드는 2개의 모듈로 구성되어 있고, 각 모듈은 MATLAB으로 구현된 함수들로 구성된다.

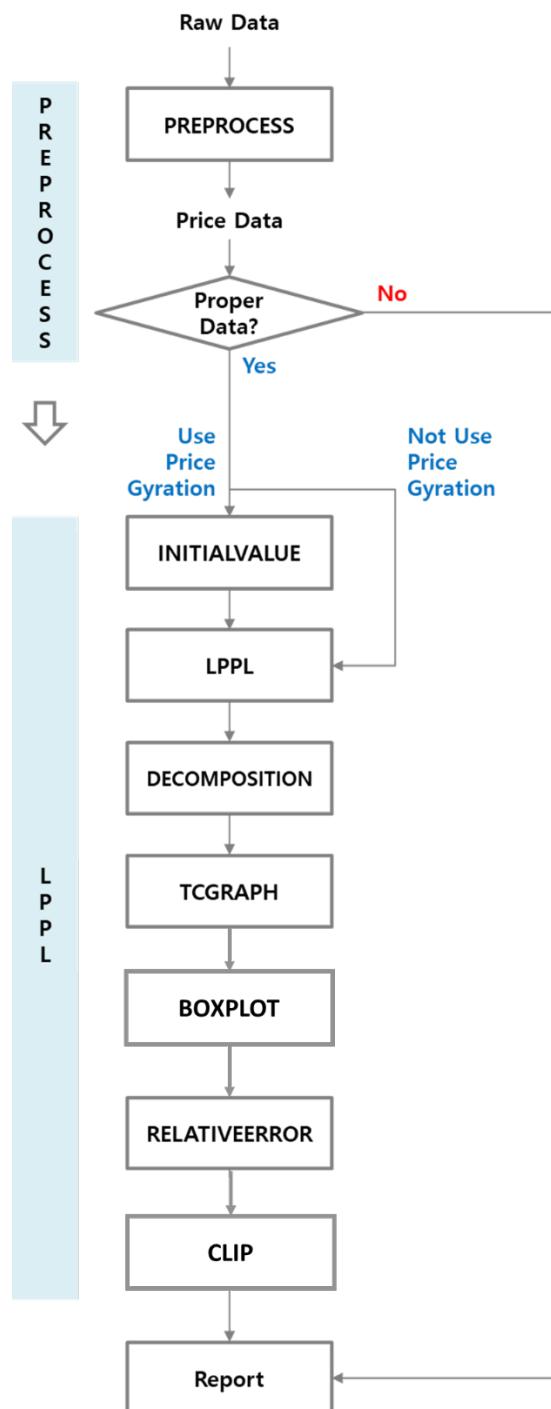
모듈 및 함수 구성은 표 7와 같다.

표 7. 모듈 및 함수 구성

모듈	함수	기능
Preprocess	PREPROCESS	- 자산가격 raw data 전처리
LPPL	INITIALVALUE	- LPPL 모델 7개 인자 초기값 생성
	LPPL	- GA를 통한 LPPL 모델 7개 인자 산출
	DECOMPOSITION	- Best fit parameter를 활용한 그래프 생성
	TCGRAPH	- Critical time 도수분포표 및 그래프 생성
	BOXPLOT	- Critical time의 box and whisker plot 생성
	RELATIVEERROR	- Best fit parameter의 상대오차 분석
	CLIP	- Crash Lock-In Plot (CLIP) 분석

평가 수행은 Preprocess → LPPL → CLIP 모듈 순서대로 진행되며, 그림 24는 QBI LPPL 코드의 계산 흐름을 나타낸다.

그림 24. 계산 흐름도



4.2 방법론

각 함수에 사용된 방법론은 다음과 같다.

가. Preprocess

Preprocess는 프로그램에서 사용할 데이터를 선별하는 함수이다. 우선 우리는 금융 버블과 금융 붕괴를 정의할 필요가 있다. 금융 버블이란 긴 기간동안 그 자산의 펀더멘털 (fundamental)을 넘어서서 자산 가격이 증가하는 것을 의미하고, 금융 붕괴(이하 붕괴)란, 버블이 터지고(burst) 상당한 크기의 자산 가격이 하락하는 것을 의미한다. 본 프로그램은 금융붕괴를 다음의 3가지 기준으로 감지한다.

- (1) 붕괴 시점 이전 252일(연간 평균 거래일, 기본값) 동안에는 해당 붕괴 시점보다 높은 가격이 없다.
- (2) 붕괴 시점 이후에 가격이 100일(Right days, 기본값) 이내로 0.15 (Right scale, 기본값) 이상 하락한다.
- (3) 붕괴 시점 이후 100일(Right days, 기본값) 동안 붕괴 시점 가격보다 높은 가격이 없다.

위 기준에 따라 입력 데이터에서 과거에 발생하였던 붕괴를 우선 감지하고, 가장 가까운 붕괴의 끝에서부터 시작한다. 이를 위해 직전의 붕괴 이후 최소 가격 지점부터 데이터를 선별한다.

LPPL 함수

나. Initial Value

Initial Value는 변화하는 window size를 가지는 Price gyration method를 이용하여 초기 변수를 생성한다. 본프로그램은 price gyration method를 다음과 같이 정의한다.

(1) 3개의 연속된 가격의 피크를 i, j, k 로 식별한다. 우선 원소 y_i 와 거리 k 로 이루어진 피크 함수 s_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$S_i[k, y_i] = \frac{1}{2} \{ \max(y_i - y_{i-1}, \dots, y_i - y_{i-k}) + \max(y_i - y_{i+1}, \dots, y_i - y_{i+k}) \}$$

이후 다음의 조건에 따라 S_i 시리즈(Series)를 screening한다.

$$S_i > 0, S_i - m > hs$$

여기서 m 과 s 는 S_i 의 평균과 표준편차이며, h 는 선택된 피크가 얼마의 표준편차로 평균으로부터 떨어져 있어야 하는지를 나타낸다. 본 프로그램은 일반적으로 사용하는 1과 3사이의 값 중 중간의 1.5를 사용한다.

최종적으로 본 프로그램에서는 최근의 데이터에 보다 높은 가중치를 주기 위해 아래의 조건에 따라 가중치를 계산한 뒤, 피크를 식별한다.

$$w_{0,i} = \frac{1}{T - i}$$

여기서 T 는 입력 데이터의 길이이며, 위 값은 정규화를 거쳐 가중치의 합은 1이 된다. 따라서 n 개의 피크에 대한 각 피크 i 에 대한 가중치는 다음과 같다.

$$w_i = \frac{w_{0,i}}{\sum_{j=1}^n w_{0,i}}$$

(2) t_c , ω , φ 의 초기값을 price gyration method를 통해 다음과 같이 계산(estimate)한다.

$$t_c = \frac{\rho k - j}{\rho - 1}, \omega = \frac{2\pi}{\ln \rho}, \varphi = \pi - \omega \ln(t_c - k) \text{ with } \rho = \frac{j-i}{k-j}$$

(3) β 와 C 의 초기값은 각각 $\beta = 1, C = 0$ 로 설정한다.

(4) A 와 B 의 초기값은 최소자승법(OLS)을 활용하여 계산한다.

$$y_t = A + B(t_c - t) + \varepsilon_t$$

다. LPPL (Log-Periodic Power Law)

LPPL 이론은 임계시점에서의 상태 변화, 즉 붕괴 시점을 알려주는 방법론이다. LPPL 이론은 붕괴 전 전조 현상에서의 물리적 성질에 해당하는 지수적 성장(super exponential growth) 성질과 로그 주파수(log frequency) 성질을 고려한다.

지수적 성장 성질은 예컨대, 가격이 매월 5%, 10%, 20%, 40% 등으로 증가하는 현상으로 지수 함수로 표현 가능하다. 내부 참여자들은 긍정적인 피드백(positive feedback)을 동반하여 미래 수익률이 촉진되나 이러한 현상이 지속될 수 없으므로 임계 시점에서 붕괴된다.

로그 주파수 성질은 임계 시점이 다가올수록 변동(fluctuation)이 빈번해지는 현상을 나타낸다. 내부 참여자들의 매매 사이클(buy-sell cycle)이 빈번해지는 것을 의미한다. LPPL 모델을 통해 금융 위기 등을 예측 가능한 요소로 파악할 수 있고, 내부의 요소들 간의 상호작용으로 인해 체제 불안정성으로 붕괴가 발생하게 된다. LPPL 모델을 수학식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Y_t = A + B \cdot (t_c - t)^\beta \{1 + C \cos[\omega \log(t_c - t) + \varphi]\}$$

LPPL 모델은 지수적 성장 및 로그 주파수를 고려하여 가격 파라미터(A), 거리 파라미터(B), 파동 파라미터(C), 시간 파라미터(t_c), 위상 파라미터(φ), 빈도 파라미터(ω), 및 지수 파라미터(β)의 관계식으로 표현된다. 파라미터의 한계 범위와 의미는 아래 표 8과 같다.

표 8. LPPL 파라미터의 한계 범위와 의미

파라미터	한계 범위	의미
가격 파라미터 A	$(\max P, +\infty)$	(1) 임계 시점의 가격 (2) 현재 가격보다 높은 가격
거리 파라미터 B	$(-\infty, 0)$	음수, 임계 가격까지의 거리 측정 B 는 C 가 0에 가까울 때 붕괴 전 시간에서 증가
파동 파라미터 C	$C \in (-1, 1)$	C 는 지수 추세 주변의 파동 크기를 제어 파동은 추세를 압도할 수 없음
시간 파라미터 t_c	$(t, +\infty)$	(1) 가장 가능성성이 높은 시간 (2) 붕괴 안 됨
위상 파라미터 φ	$[0, 2\pi)$	위상 조정
빈도 파라미터 ω	$[4.8, 13]$	ω 는 자산 버블 동안의 변동 빈도 너무 작음 \rightarrow 잘못된 파동 너무 큼 \rightarrow 랜덤 노이즈 맞추기
지수 파라미터 β	$[0.1, 0.9]$	β 는 멱함수 성장의 지수 음수 \rightarrow 무한 임계 가격 양수이지만 0에 가까움 \rightarrow 추세 없음 양수이지만 1에 가까움 \rightarrow 낮은 위험율

본 프로그램은 LPPL 모델을 최적화하기 위해 유전알고리즘을 활용한다. 유전 알고리즘은 다음의 단계를 거쳐 실행된다.

- (1) Price gyration option을 사용하는 경우에는 price gyration method를 통해 생성한 LPPL의 7개 파라미터 벡터를 유전알고리즘의 초기 모집단으로 설정한다. Price gyration option을 사용하지 않는 경우에는 각 파라미터 별 한계 범위 내에서 무작위로 생성된 파라미터 벡터가 초기 모집단으로 설정된다. 이때, 각각의 구성원에 대한 RMSE(Root Mean Square Error)도 계산된다.
- (2) 자손은 값을 대체하지 않고 무작위로 두 개의 부모를 선택하여 산술 평균을 계산하는 것으로 생성됩니다. 만약 파라미터 값이 제약 조건을 벗어나면 가장 가까운 경계 값으로 설정된다.
- (3) 돌연변이(mutation)는 현재 모집단의 각 계수에 교란(perturb) 변수를 추가하는 방식으로 해(solution)를 교란시켜 검색 공간의 새로운 영역이 탐색될 수 있도록 한다. 이러한 교란을 통해 만들어진 파라미터 값이 제약 조건을 벗어나면 (2)와 같이 가장 가까운 경계 값으로 설정된다.
- (4) 위 과정을 거친 후 새롭게 생성된 개체들을 모집단과 합칩니다. 이때 모든 해는 RMSE에 따라 오름차순으로 순위가 매겨지며, 최고의 해 중 절반 만이 다음 세대까지 살아남는다.

라. Decomposition

금융 시장의 위험을 측정하기 위해 지수적 성장 $(t_c - t)^\beta$ 과 로그 주파수 $\cos(\omega \ln(t_c - t))$ 를 LPPL 모델에서 계산한다. 붕괴 지점에 가까워질수록, 지수적 성장의 기울기와 로그 주파수는 모두 증가하는 경향이 있다. 따라서 이 두 가지 지표가 동시에 증가한다는 것은 붕괴가 임박했음을 나타낸다.

마. Relative Error

상대오차(Relative Error) 분석은 RMSE가 가장 낮게 나타난 LPPL 파라미터 벡터 값을 이용하여 알고리즘이 버블을 잘 잡아냈는지를 확인한다. 일반적으로 과거 금융 버블을 분석한 LPPL 알고리즘의 상대 오차를 5% 이내였다. 따라서 만약 상대오차 분석의 결과가 5% 이내로 보일 경우 해당 결과가 금융 버블을 잘 잡아내고 있음을 나타낸다.

바. Box Plot

Box Plot은 산출된 Critical Time의 Box and Whisker Plot이다. 각 상자의 맨 왼쪽과 맨 오른쪽 각각 표본의 25 percentile과 75 percentile이며, 그 사이의 거리는 사분위 범위이다. 또한, 각 상자의 중간에 있는 빨간색 선은 대푯값을 나타낸다. Whisker은 각 상자 오른쪽과 왼쪽으로 확장되는 선으로 사분위 범위의 끝에서 Whisker 길이 내의 가장 먼 관측값까지 확장된다. Whisker 길이를 초과하는 관측값은 Outlier (빨간색 + 기호)로 표시되는데, 상자의 맨 아래 또는 맨 위에서 사분위 범위의 1.5배 이상 떨어져 있는 값이다.

사. CLIP (Crash Lock-In Plot) Analysis

CLIP은 분석 데이터의 마지막 지점을 “Days” 만큼 4번에 걸쳐 앞당기며 추정한 5가지의 추정 Critical Time을 비교하여 그린 그래프이다. CLIP 분석은 금융 버블의 진화(Development)를 추적하고 Critical Time이 임박한지 여부를 이해하는데 유용한 도구로, 만약 금융 버블의 붕괴가 가까워지고 있다면 시간이 지날 수록 추정된 Critical Time은 일정한 값으로 수렴하는 모습을 보인다.

5. Sample Run

KOSPI 가격 데이터를 입력데이터로 사용하여 LPPL 프로그램을 가동한 예시를 소개한다. Case 1의 경우 가장 최근 가격 데이터의 구동 결과를 공유하고자 2002-09-05년부터 2022-09-05까지 20년 동안의 KOSPI 일별 가격 데이터를 사용하였고, Case 2의 경우 Case 1에서 Preprocess 모듈에 사용되는 매개변수에 변화를 주어 프로그램을 구동하였다. Case 3의 경우 상승하는 가격 데이터의 구동 결과를 공유하고자 2002-09-05년부터 2011-02-28일 까지의 KOSPI 일별 가격 데이터를 사용하였다.

5.1 Case 1 – KOSPI (2002.09.05 ~ 2022.09.05)

한국거래소의 유가증권시장에 상장된 회사들의 주식에 대한 총합을 나타내는 지표인 KOPSI 일별 가격 데이터 중 가장 최근 20년 동안의 데이터를 사용하여 LPPL을 가동한다.

5.1.1 매개변수

프로그램을 가동하기전 설정한 매개변수는 기본값을 사용하였고, 표 9에서 확인할 수 있다. 본 Case에서는 Preprocess 모듈까지 실행시키고 LPPL 모듈은 실행시키지 않았기 때문에, LPPL 모듈 실행에 필요한 매개변수는 제외하였다.

표 9. Case 1 매개변수

입력 항목	입력 값
Average trading day per year	252
Set Start Day	Unchecked
Right days	100
Right scale	0.15

5.1.2 Preprocess

Preprocess 모듈은 입력한 자산가격 데이터에 대해 필요한 데이터 구간을 선별하고, 이를 통해 LPPL 분석에 적합한지를 판단한다. Case 1의 필요한 데이터 선별 결과는 그림 16과 같다.

그림 25. Case 1 Price_figure



그림 25에서 초록 세로선을 통해 20년 동안 KOSPI 시장에서 100일 동안 15% 이상 하락한 붕괴 구간이 총 7번 발생하였음을 확인할 수 있다. 또한 마지막 붕괴가 끝난 이후 2020-03-19부터 필요한 데이터가 선별되었음을 빨간 선의 Selected Price를 통해 알 수 있다.

Case 1의 경우 직전의 붕괴 이후 상승하던 가격이 2021년 6월 이후 하락장으로 추세를 변환한 것을 시각적으로 확인할 수 있다. 이러한 경우 시장에 금융 버블이 발생하였다고 볼 수 없기 때문에, LPPL 모듈을 가동하지 않는 것이 올바른 판단이다. 따라서 Case 1의 경우 현재 시점에서 Run-Print Report를 통해 리포트를 생성하며 프로젝트를 완료한다.

5.1.3 Report

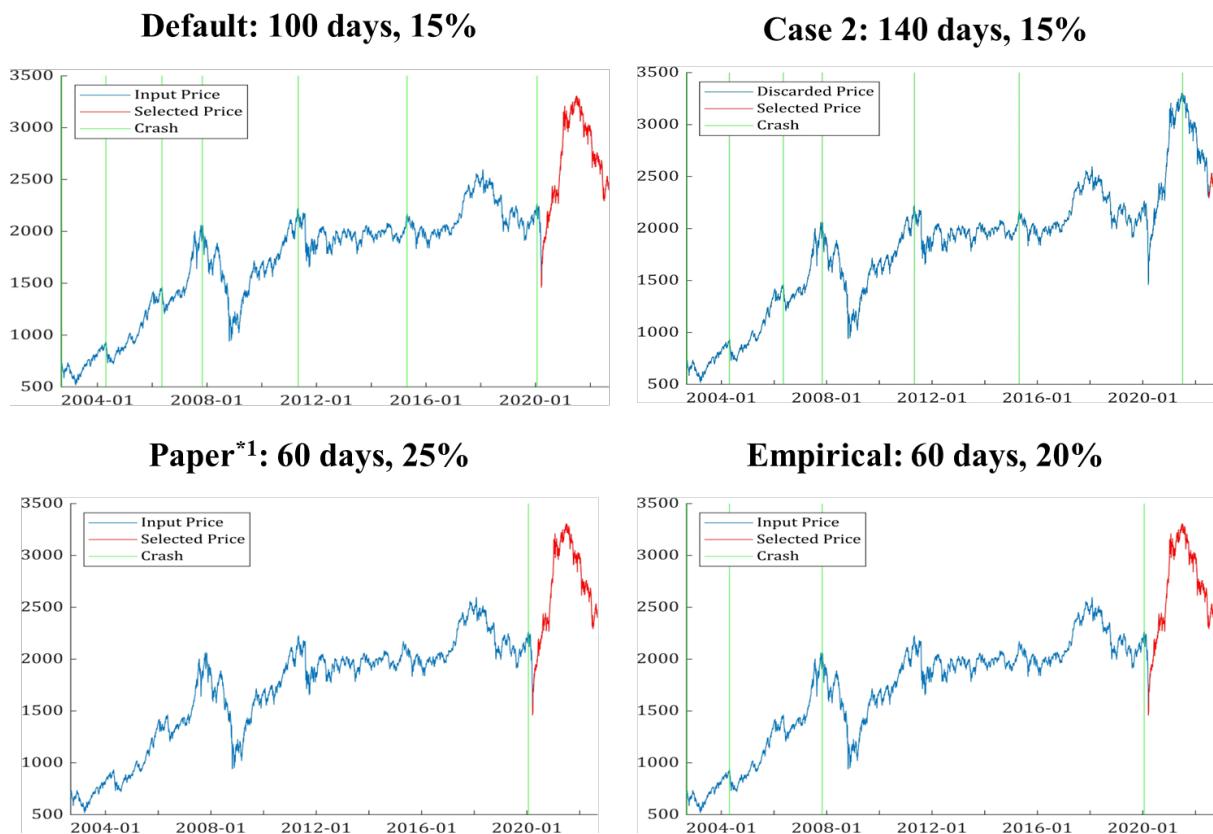
Case 1에서 Report를 통해 생성된 보고서는 Price Data만 포함한다. 보고서는 프로그램 가동 결과 뿐 아니라 결과 해석에 도움을 주는 설명도 함께 제공한다.

5.2 Case 2 - KOSPI (2002.09.05 ~ 2022.09.05)

Case 2는 Case 1과 같은 데이터를 사용하지만 Preprocess의 매개변수인 Right days를 기본값(100일)에서 140일로 변경하여 프로그램을 가동한다.

* 참고: 2002.09.05 ~ 2022.09.05 KOSPI 일별 가격 데이터에 대해 Preprocess 매개변수 Right days와 Right scale을 각각 기본값(100 days, 15%), Case 2 (140 days, 15%), Paper (60 days, 25%), Empirical (60 days, 20%)로 분석한 Price_graph 결과는 그림 26과 같다.

그림 26. Preprocess 매개변수 변화에 따른 Price graph



*1: Bingcun Dai, Fan Zhang, Domenico Tarzia, Kwangwon Ahn, "Forecasting Financial Crashes: Revisit to Log-Periodic Power Law", Complexity, vol. 2018, Article ID 4237471, 12 pages, 2018.

<https://doi.org/10.1155/2018/4237471>

5.2.1 매개변수

프로그램을 가동하기전 설정한 매개변수는 기본값을 사용하였고, 표 10에서 확인할 수 있다. 본 Case에서는 Preprocess 모듈까지 실행시키고 그 결과에 따라 LPPL 모듈을 실행시킬 수 없기 때문에, LPPL 모듈 실행에 필요한 매개변수는 제외하였다.

표 10. Case 2 매개변수

입력 항목	입력 값
Average trading day per year	252
Set Start Day	Unchecked / 미입력
Right days	140
Right scale	0.15

5.2.2 Preprocess

Preprocess 모듈은 입력한 자산가격 데이터에 대해 필요한 데이터 구간을 선별하고, 이를 통해 LPPL 분석에 적합한지를 판단한다. Case 2의 필요한 데이터 선별 결과는 그림 27과 같다.

그림 27. Case 1 Price figure

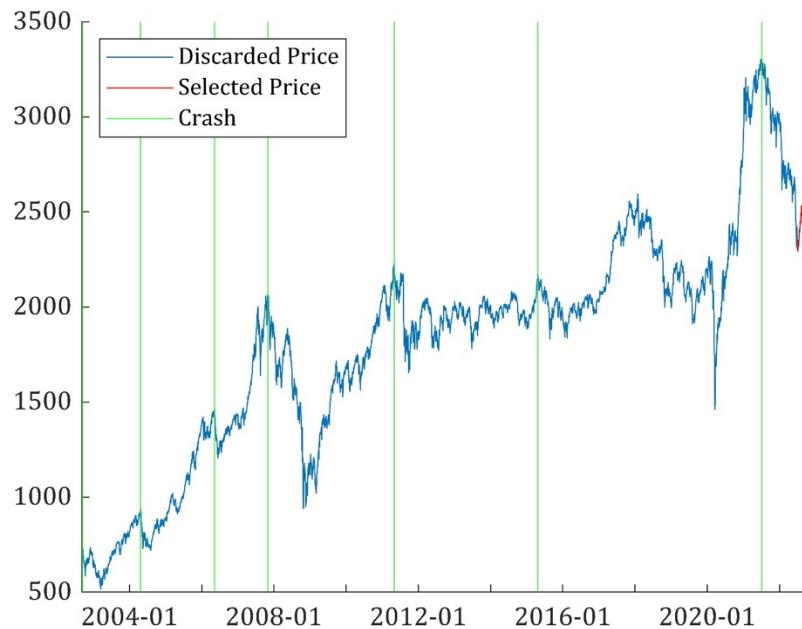


그림 27에서 초록 세로선을 통해 20년 동안 KOSPI 시장에서 140일 동안 15% 이상 하락한 붕괴 구간은 총 7번 발생하였음을 확인할 수 있고, 마지막 붕괴가 끝난 이후 2022-07-06부터 필요한 데이터가 선별되었음을 빨간 선의 Selected Price를 통해 알 수 있다.

Case 2의 경우 하락장에 해당하는 시점으로 선별된 Selected price의 길이가 충분히 길지 않다. 이러한 경우 LPPL 분석에 적합하지 않다고 판단되기 때문에, LPPL 모듈을 가동하지 않는 것이 올바른 판단이다. 따라서 Case 1과 같이 현재 시점에서 Run-Print Report를 통해 리포트를 생성하며 프로젝트를 완료 한다.

5.2.3 Report

Case 2에서 Report를 통해 생성된 보고서는 Case 1과 같이 Price Data만 포함한다. 보고서는 프로그램 가동 결과 뿐 아니라 결과 해석에 도움을 주는 설

명도 함께 제공한다.

5.3 Case 3 - KOSPI (2002.09.05 ~ 2011.02.28)

Case 3은 Case1과 2에서 사용한 20년 동안의 KOPSPPI 데이터 중 금융 버블이 보이는 2011.02.28까지의 약 10년 동안의 데이터를 사용하여 LPPL을 가동한다.

5.3.1 매개변수

프로그램을 가동하기전 설정한 매개변수는 기본값을 사용하였고, 표 11에서 확인할 수 있다.

표 11. Case 3 매개변수

입력 항목	입력 값
Average trading day per year	252
Right days	100
Right scale	0.15
Use Price Gyration Method	check
Cycle	500
Moving window	7
Population size	700
Generations	1750

5.3.2 Preprocess

Preprocess 모듈은 입력한 자산가격 데이터에 대해 필요한 데이터 구간을 선별하고, 이를 통해 LPPL 분석에 적합한지를 판단한다. Case 3에서의 과거 붕괴 및 필요한 데이터 선별 결과는 그림 28과 같다.

그림 28. Case 3 Price figure

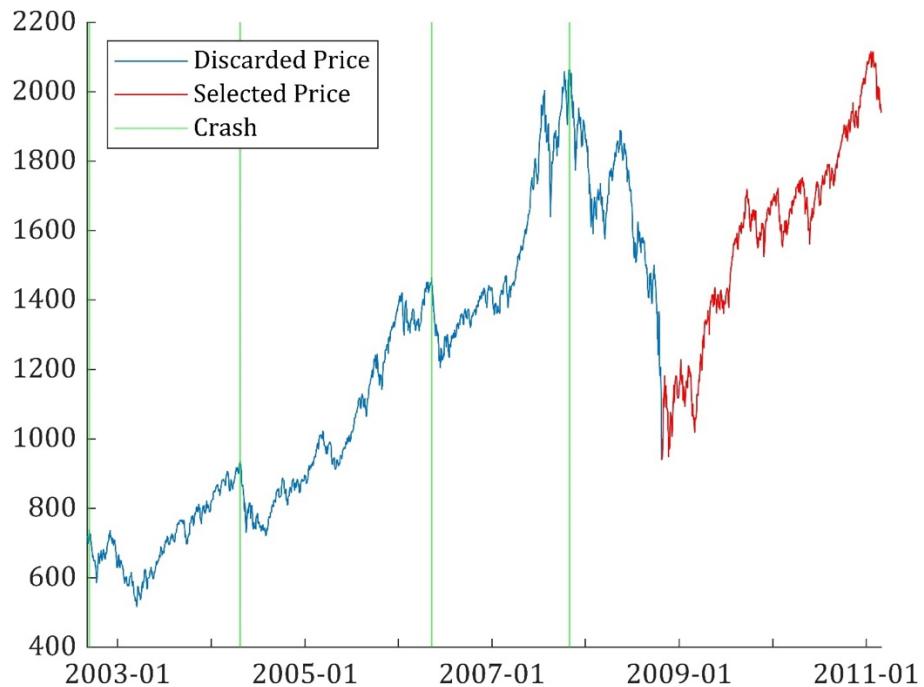


그림 28에서 초록 세로선을 통해 입력데이터 기간 동안 KOSPI 시장에서 100일 동안 15% 이상 하락한 붕괴 구간이 총 4번 발생하였음을 확인할 수 있고, 마지막 붕괴가 끝난 이후 2008-10-24부터의 데이터가 분석에 활용되는 것을 빨간 선의 Selected Price를 통해 알 수 있다.

Case 3의 경우 선별된 Selected price가 입력한 연평균 거래일(252일) 이상 확보되었고 상승추세를 확인할 수 있기 때문에 LPPL 모듈을 실행시키기에 적합하다고 판단된다.

5.3.3 LPPL

LPPL 모듈은 초기 파라미터 값을 생성하는 Initial Value 함수와, 초기 파라미터 값을 최적화하는 LPPL 함수를 실행시킨다.

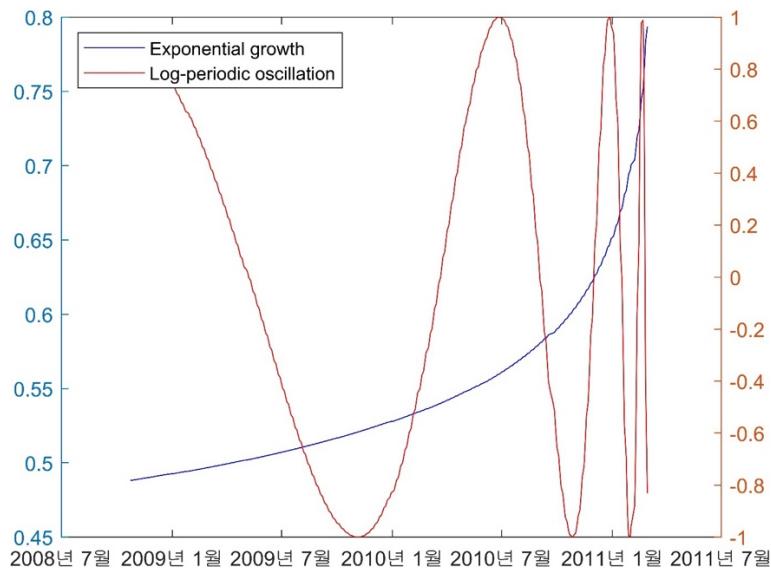
5.3.3.1 Initial Value

Case 3은 Price Gyration 매개변수를 "check"로 입력하여 price gyration을 통해 유전 알고리즘에 입력되는 초기 모집단인 LPPL 모델의 초기값을 생성한다. 그 결과 사전에 설정해둔 "Cycle"과 "population" 수에 따라 500 (cycle) x 700 (population)의 Initial population이 저장된 INITIALVALUE_Table.xlsx 파일이 생성되었다.

5.3.3.2 Decomposition 결과

Decomposition 결과를 통해 LPPL 결과의 타당성을 확인할 수 있다. 유전 알고리즘을 통해 최적화한 LPPL 파라미터 중 RMSE 값을 기준으로 최고의 파라미터를 선정하여, 그린 결과는 그림 26과 같다. Case3의 경우 지수적 성장의 기울기가 0.1%에서 0.55%까지 상승하는 것을 확인할 수 있고, 로그 주파수가 3개 이상의 극대점을 가지며 그 주기는 193일에서 62일로 감소하여 주파수의 빈도가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 동시에 상승하는 지수적 성장의 기울기와 로그 주파수의 극댓값 수와 그 빈도를 통해 붕괴가 임박했음을 추측할 수 있다.

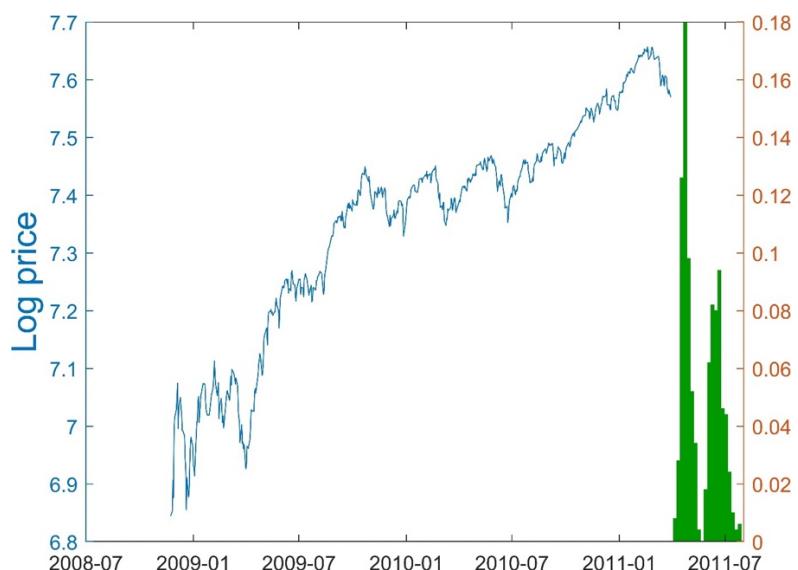
그림 29. Case 3 Decomposition 결과



5.3.3.3 Tc graph 결과

그림 30은 LPPL 프로그램을 통해 시뮬레이션한 붕괴 지점을 로그 가격과 함께 히스토그램으로 그린 그래프이다. Tc graph 결과를 통해 2011년 3월부터 6월 사이에 붕괴가 예측됨을 알 수 있다. 또한 가장 가능성が高い 임계지점은 2011년 03월 24일 부근임을 알 수 있다.

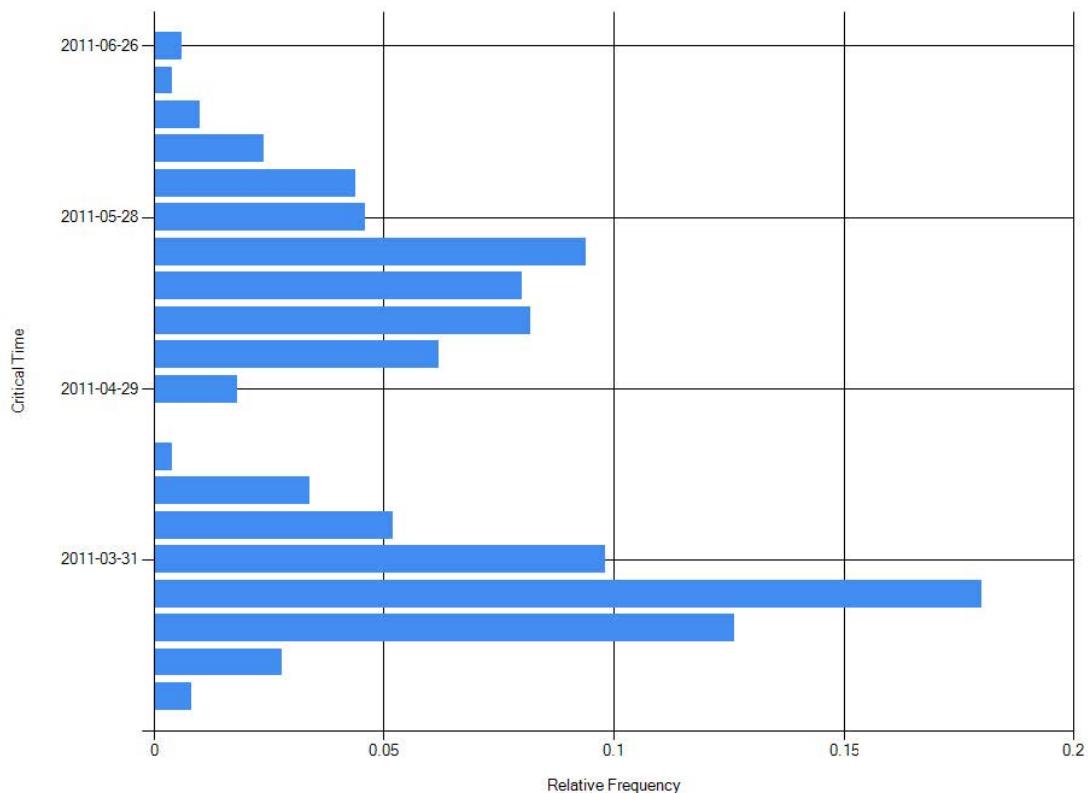
그림 30. Case 3 Tc graph 결과



5.3.3.4 Critical Time

Critical Time 그래프는 T_c graph에서 예측된 봉과 시점 데이터만을 가로 막대 형태의 히스토그램으로 그린 그래프이다. 그림 31을 통해 예측 지점 을 보다 자세히 확인할 수 있다.

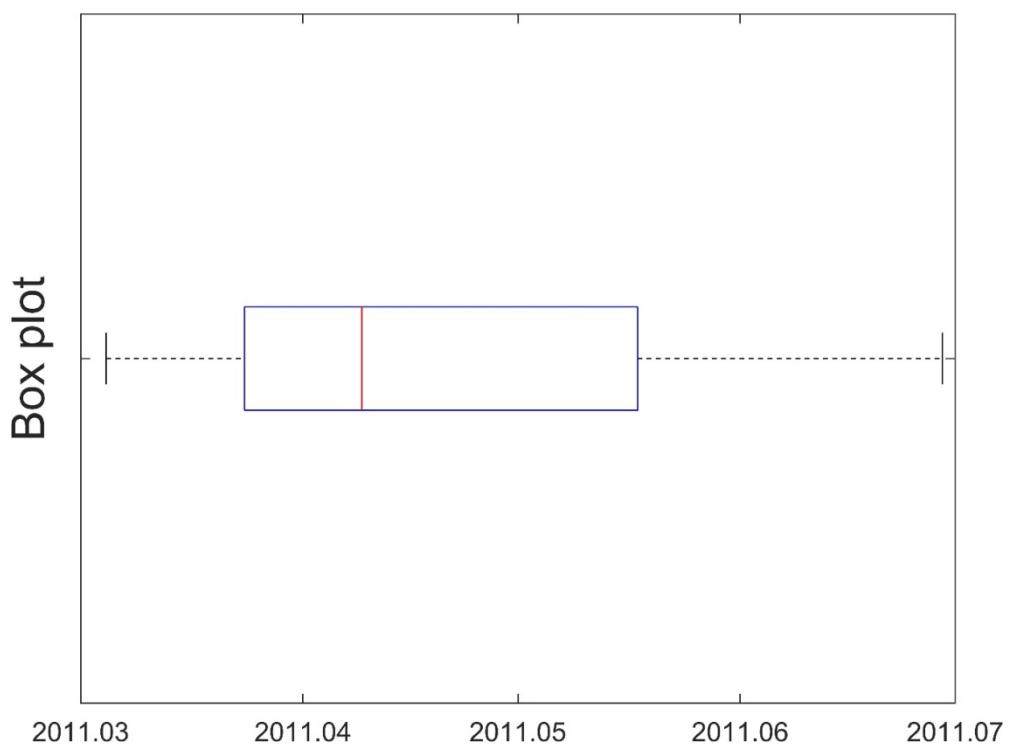
그림 31. Case 3 Critical Time



5.3.3.5 Box Plot

Box Plot 그래프는 추정 Critical Time의 25 percentile과 75 percentile을 기준으로 그린 상자와 대푯값, Whisker를 그린 그래프이다. 그림 32를 통해 추정 Critical Time을 보다 자세히 분석할 수 있다.

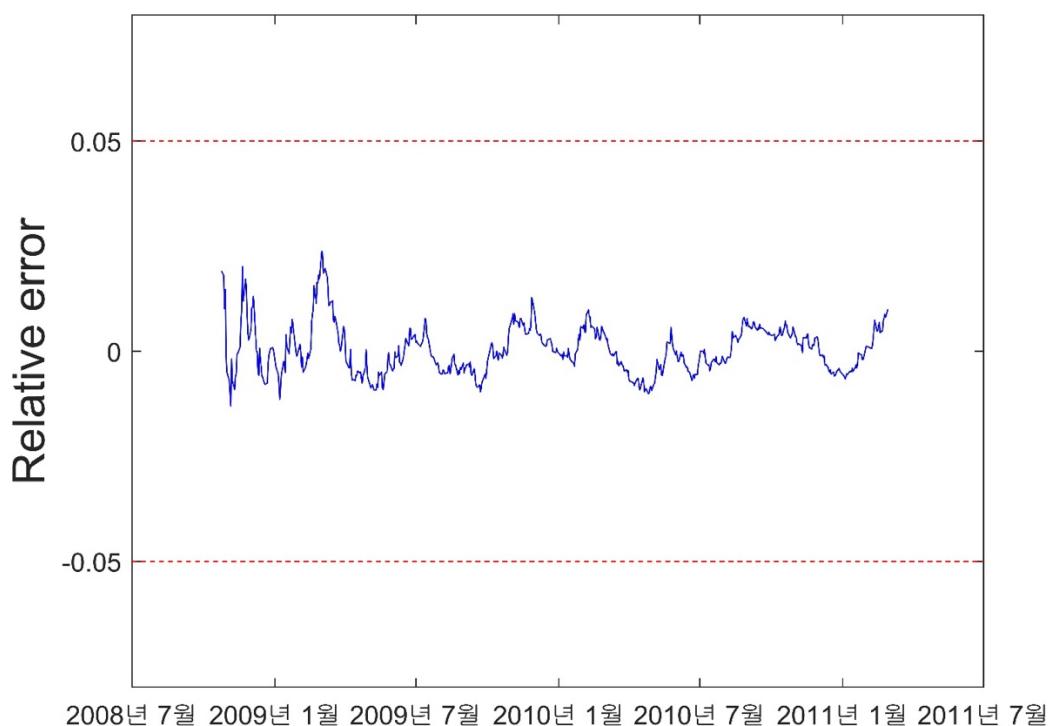
그림 32. Case 3 Box Plot



5.3.3.6 Relative error

상대 오차 분석은 LPPL 프로그램을 가동한 결과가 버블을 잘 잡아냈는지를 확인한다. 그림 33에서 확인할 수 있듯 상대오차 분석의 결과는 5% 이내를 보인다. 이는 일반적으로 과거 금융 버블을 분석한 LPPL 알고리즘의 상대 오차와 유사한 수치로 금융 버블을 잘 잡아낸 것을 확인할 수 있다.

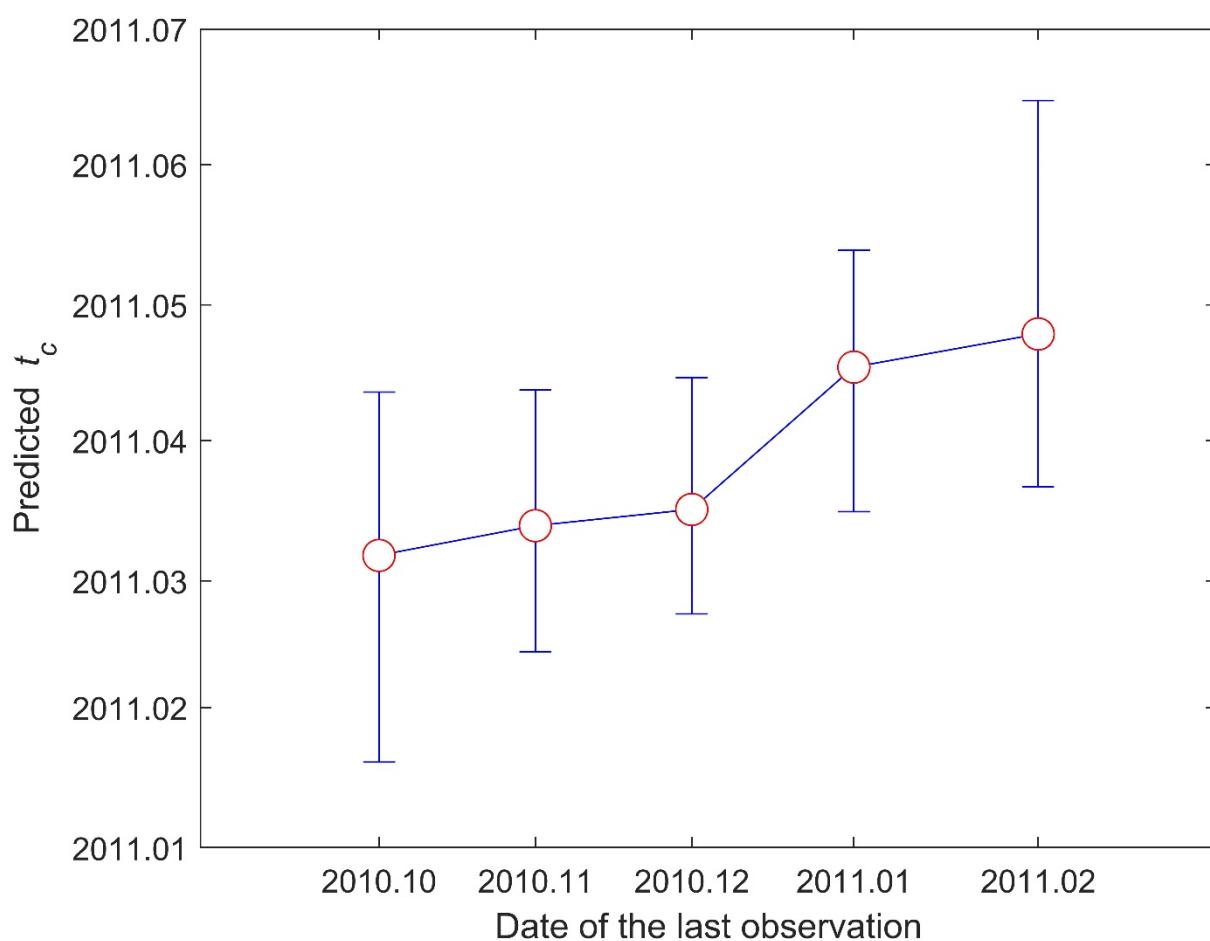
그림 33. Case 3 Relative error



5.3.3.7 CLIP

CLIP 분석은 분석 데이터의 마지막 지점을 "Days" 만큼 4번에 걸쳐 앞당기며 추정한 5가지의 추정 Critical Time을 비교한다. 그림 34에서 분석 시점 한달 전 결과와 비교했을 때 현재 시점에서 예측 붕괴 지점이 일정한 값을 수렴해가는 모습을 확인할 수 있다.

그림 34. Case 3 Relative error



5.3.4 Report

Case 3에서 Report를 통해 생성된 보고서는 Price Data - Summary – Input – Detailed Result로 구성된다. 보고서는 프로그램 가동 결과 뿐 아니라 결과 해석에 도움을 주는 설명도 함께 제공한다.

II. 자동모드

1. 프로그램 개요

자동모드는 다수의 자산상품에 대하여 LPPL 분석을 일괄적으로 수행할 수 있는 별도의 모듈이다. 자동모드는 아래 그림과 같은 디렉토리 형태로 제공되며, LPPLAuto.exe 파일을 Windows 명령 프롬프트(콘솔창)에서 구동한다.

LPPLAuto.exe 실행파일 위치를 기준으로 상대위치로 입출력을 처리하므로 자동모드 디렉토리의 위치는 사용자가 자유롭게 배치하여 사용할 수 있다.

그림 35. LPPL 자동모드 파일 구성

이름	수정한 날짜	유형	크기
2022-09-30	2022-09-30 오후 1:17	파일 폴더	
2022-11-03	2022-11-03 오후 2:20	파일 폴더	
InitialMode	2022-11-03 오후 2:33	파일 폴더	
EPPPlus.dll	2022-09-26 오후 3:52	응용 프로그램 확장	3,083KB
EPPPlus.Interfaces.dll	2022-09-26 오후 3:52	응용 프로그램 확장	7KB
EPPPlus.System.Drawing.dll	2022-09-26 오후 3:52	응용 프로그램 확장	7KB
EPPPlus.xml	2022-09-26 오후 3:52	Microsoft Edge H...	3,060KB
LPPL.cfg	2022-11-03 오후 1:24	Configuration 원...	1KB
LPPL.dll	2022-11-03 오후 2:09	응용 프로그램 확장	83KB
LPPLAuto.exe	2022-11-03 오후 2:28	응용 프로그램	13KB
LPPLAuto.exe.config	2022-09-26 오후 3:52	XML Configuratio...	2KB
LPPLAuto.pdb	2022-11-03 오후 2:28	Program Debug ...	20KB
LPPLAuto.vshost.exe	2022-11-03 오후 2:33	응용 프로그램	24KB
LPPLAuto.vshost.exe.config	2022-09-26 오후 3:52	XML Configuratio...	2KB
LPPLAuto.vshost.exe.manifest	2019-12-07 오후 6:10	MANIFEST 파일	1KB
Microsoft.IO.RecyclableMemoryStream.dll	2022-09-26 오후 3:52	응용 프로그램 확장	56KB
Microsoft.IO.RecyclableMemoryStream.x...	2022-09-26 오후 3:52	Microsoft Edge H...	98KB
System.Buffers.dll	2022-09-26 오후 3:52	응용 프로그램 확장	21KB
System.Buffers.xml	2022-09-26 오후 3:52	Microsoft Edge H...	4KB
System.Memory.dll	2022-09-26 오후 3:52	응용 프로그램 확장	139KB
System.Memory.xml	2022-09-26 오후 3:52	Microsoft Edge H...	14KB
System.Numerics.Vectors.dll	2022-09-26 오후 3:52	응용 프로그램 확장	114KB
System.Numerics.Vectors.xml	2022-09-26 오후 3:52	Microsoft Edge H...	180KB
System.Runtime.CompilerServices.Unsafe...	2022-09-26 오후 3:52	응용 프로그램 확장	18KB
System.Runtime.CompilerServices.Unsafe...	2022-09-26 오후 3:52	Microsoft Edge H...	21KB

2. 자동모드 사용자 매뉴얼

2.1 입력

자동모드의 입력파일은 옵션과 변수를 입력하는 control file과 자산가격 데이터로 구성된다.

Control file은 LPPLauto.exe 파일과 같은 디렉토리 내에 존재하는 LPPL.cfg 파일을 읽는다. LPPL.cfg 파일의 구성은 아래 표12과 같다.

표 12. LPPL 자동모드 control file 입력

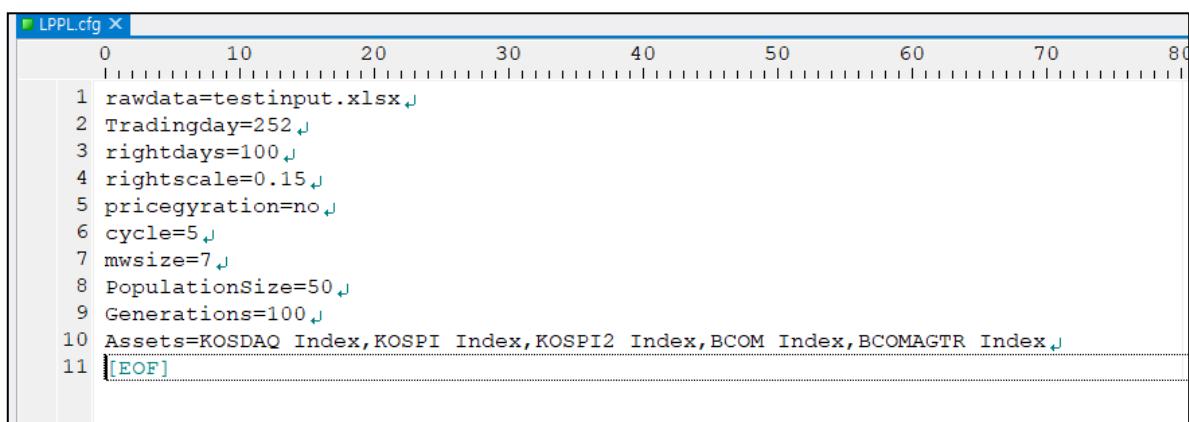
입력항목	포맷	기본값	설명
rawdata	String	-	- 자산가격 입력파일(*.xlsx)
Tradingday	Integer	252	- 연평균 거래일
rightdays	Integer	100	
rightscale	Double	0.15	- 수동모드 참조
pricegyration	String	yes/no	- Price Gyration Method 적용 여부 (yes 또는 no 입력)
cycle	Integer	500	- LPPL 시뮬레이션 횟수
mwsizer	Integer	7	- 초기 값(Initial Value) 생성 시 이동 창(Moving window) 크기
PopulationSize	Integer	700	- 초기 값 생성 수
Generations	Integer	1750	- GA 알고리즘 세대 수
Assets	String[]	-	- 자산 명칭(rawdata 엑셀파일의 각 컬럼명과 동일해야 함)

LPPL.cfg 파일은 각 행(row)별로 변수를 작성해야 하며, <변수명=값> 형태로 입력한다. 각 변수의 의미는 수동모드(UI)와 동일하다.

10개의 변수는 모두 입력되어야 하므로 임의로 행을 삭제할 경우 에러가 발생 한다. Assets는 분석하고자 하는 자산명칭들을 콤마(,)로 구분하여 입력할 수 있으며, rawdata로 입력되는 자산가격 엑셀파일의 컬럼명과 완전히 일치하는 자산들만 분석을 수행하게 된다.

아래 그림 36은 작성된 LPPL.cfg 파일 예시이다.

그림 36. LPPL.cfg 파일 예시



```
LPPL.cfg X
0      10      20      30      40      50      60      70      80
1 rawdata=testinput.xlsx
2 Tradingday=252
3 rightdays=100
4 rightscale=0.15
5 pricegyration=no
6 cycle=5
7 mwsize=7
8 PopulationSize=50
9 Generations=100
10 Assets=KOSDAQ Index,KOSPI Index,KOSPI2 Index,BCOM Index,BCOMAGTR Index
11 [EOF]
```

2.2 실행

LPPL 자동모드의 실행은 LPPLauto.exe 파일이 위치한 경로에서 Windows 명령 프롬프트를 통해 구동한다.

구동 명령어는 <LPPLauto.exe N>이며, N은 Initial Mode/Basic Mode를 구분하는 인자로 0 또는 1의 값을 입력해야 한다. 아래 그림 37은 자동모드 구동 예시이다.

그림 37. LPPL 자동모드 구동화면

```
C:\#Users#\HP#\Documents#\LPPLauto>LPPLauto.exe 1
Start LPPL model for each asset!
There are 5 assets.
Start analysis on KOSDAQ Index.
```

입력하는 자산가격 데이터에서 과거의 모든 crash를 분석하고 싶은 경우에는 인자에 0을 입력하여 Initial Mode를 구동할 수 있다.

최근 마지막 crash 이후부터 현재의 버블 상황을 분석하고 싶은 경우에는 인자에 1을 입력하여 Basic Mode를 구동할 수 있다.

자동모드는 다수의 자산을 분석하므로 옵션과 자산 수에 따라 하루 이상 소요될 수 있다. 특히 Initial Mode의 경우 과거의 모든 데이터를 분석하므로 상당한 시간이 소요될 수 있다.

2.3 출력

LPPL 자동모드의 출력은 모드별로 별도로 저장된다.

가. Initial Mode

Initial Mode의 출력들은 LPPLauto.exe 파일이 위치한 디렉토리 하단에 InitialMode 디렉토리가 생성되어 저장된다.

입력한 전체 기간에 대하여 각 자산별로 아래 표 13과 같은 정보들을 출력한다.

표 13 LPPL 자동모드 Initial Mode 출력

출력항목	포맷	설명
자산명_INITIALMODE_figure	jpg	- 과거 전체 기간 동안의 crash 분석 결과 그림
자산명_DECOMPOSITION_figure_N	jpg	- N번째 crash에 대한 DECOMPOSITION 결과 그림
자산명_DECOMPOSITION_Result_N	xlsx	- N번째 crash에 대한 버블 분석 결과
자산명_DECOMPOSITION_table_N	Xlsx	- N번째 crash에 대한 DECOMPOSITION 결과 테이블
자산명_LPPL_table_N	xlsx	- N번째 crash에 대한 LPPL 인자 결과 테이블
자산명_pricedata_N	xlsx	- N번째 crash 분석에 사용된 자산 데이터
자산명_TCGRAPH_figure_N	jpg	- N번째 crash에 대한 critical time 결과 그림
자산명_TCGRAPH_table_N	xlsx	- N번째 crash에 대한 critical time 결과 테이블

나. Basic Mode

Basic Mode의 출력들은 LPPLauto.exe 파일이 위치한 디렉토리 하단에 YYYY-MM-DD 형태의 실행 날짜 디렉토리가 생성되어 저장된다.

마지막 crash 이후의 자산가격 데이터를 활용하여 현재의 버블 상태를 분석하고, 각 자산별로 아래 표 14와 같은 정보들을 출력한다.

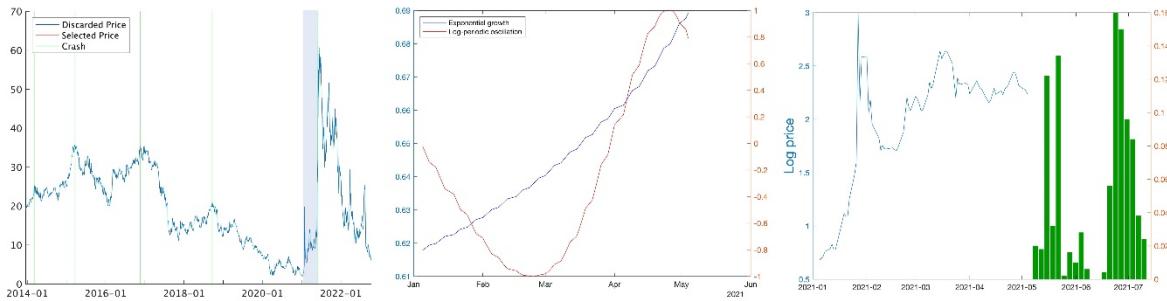
표 14. LPPL 자동모드 Basic Mode 출력

출력항목	포맷	설명
자산명	ipa	- 각 자산별 프로젝트 파일
report	txt	- 각 자산별 버블 분석결과
자산명_DECOMPOSITION_figure	jpg	- DECOMPOSITION 결과 그림
자산명_DECOMPOSITION_Result	xlsx	- 버블 분석 결과
자산명_DECOMPOSITION_table	Xlsx	- DECOMPOSITION 결과 테이블
자산명_LPPL_table	xlsx	- LPPL 인자 결과 테이블
자산명_Price_figure	jpg	- 분석에 사용된 자산 데이터 그림
자산명_pricedata	xlsx	- 분석에 사용된 자산 데이터
자산명_TCGRAPH_figure	jpg	- critical time 결과 그림
자산명_TCGRAPH_table	xlsx	- critical time 결과 테이블
자산명_RELATIVEERROR_figure	jpg	- Relative error 결과 그림
자산명_RELATIVEERROR_table	xlsx	- Relative error 결과 테이블
자산명_BOXPLOT_figure	jpg	- Box plot 결과 그림

APPENDIX

1. There is no bubble risk, but in-depth analysis is required

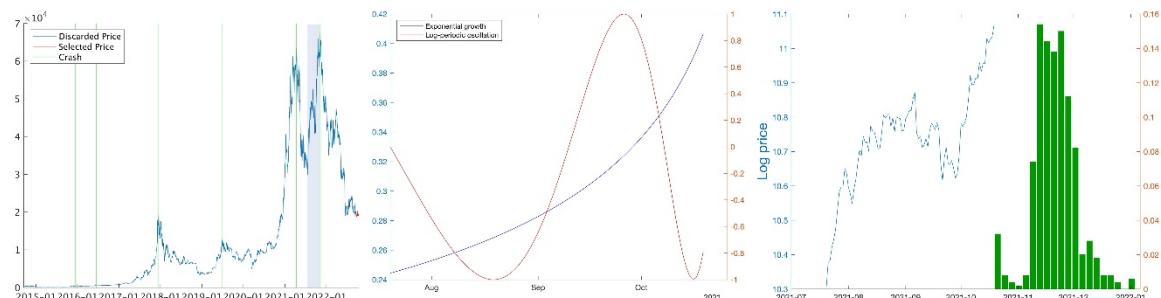
AMC_AMC Entertainment_2021-06-04



데이터 기간
2021-01-05 ~ 2021-05-04
(붕괴 한달 전)

Datetime	Index	Interval	Interval_percent	Gradient	Gradient_percent
2021-04-26	77	0	0	0.001456	0

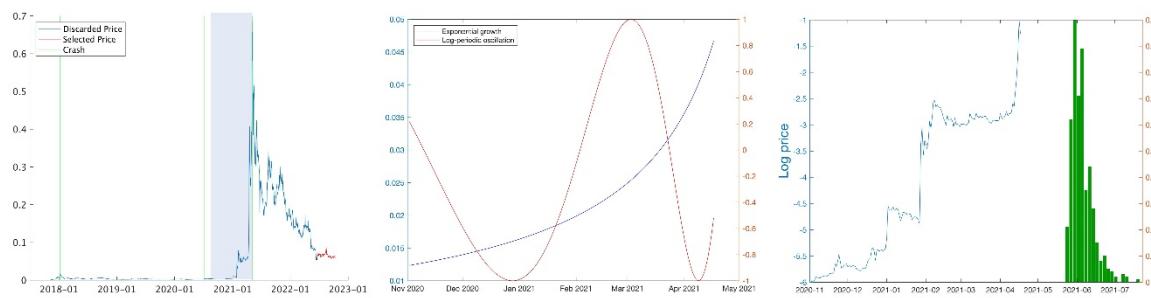
BTC_Bitcoin_2021-11-19



데이터 기간
2021-07-20 ~ 2021-10-19
(붕괴 한달 전)

Datetime	Index	Interval	Interval_percent	Gradient	Gradient_percent
2021-09-26	69	0	0	0.002274	0

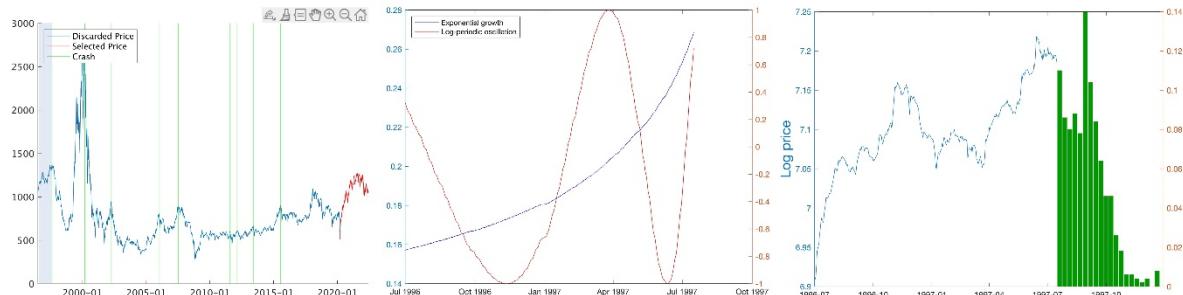
DOGE_2021 Dogecoin Boom



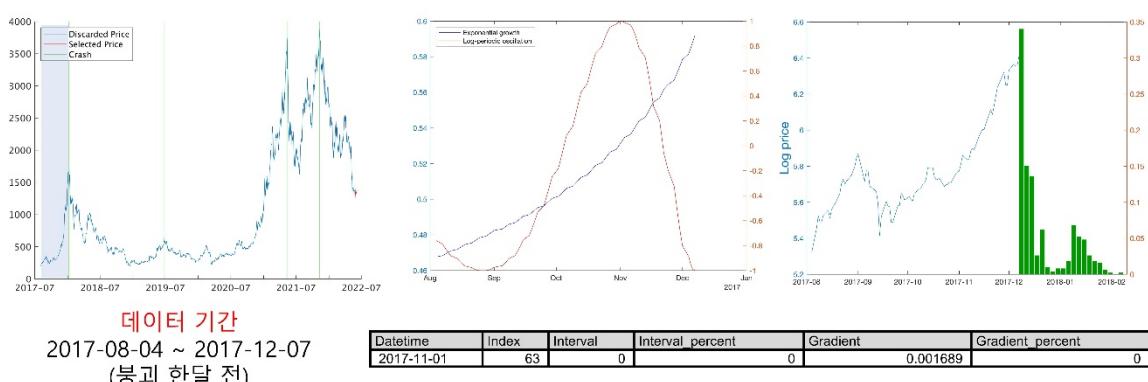
데이터 기간
2020-11-02 ~ 2021-04-17
(붕괴 한달 전)

Datetime	Index	Interval	Interval_percent	Gradient	Gradient_percent
2021-03-03	122	0	0	0.000245	0

KOSDAQ_IMF



BGCI_Bloomberg Galaxy Crypto Index_2018-01-07

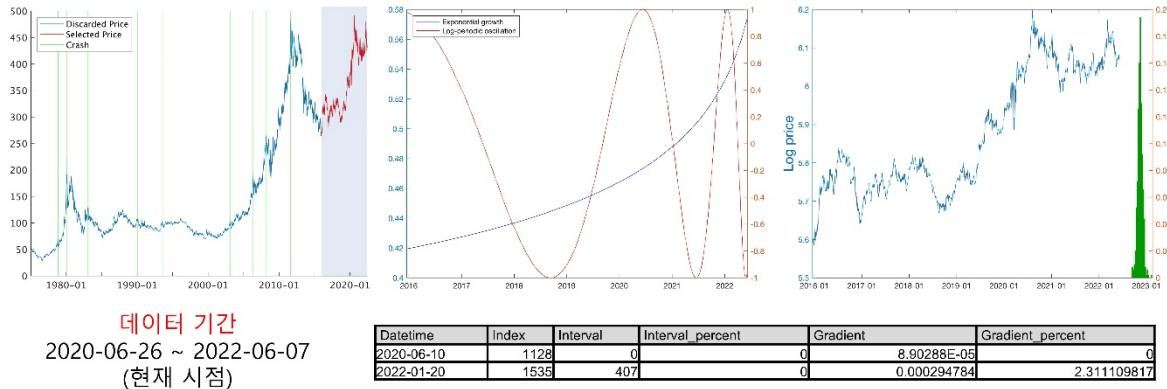


그 외

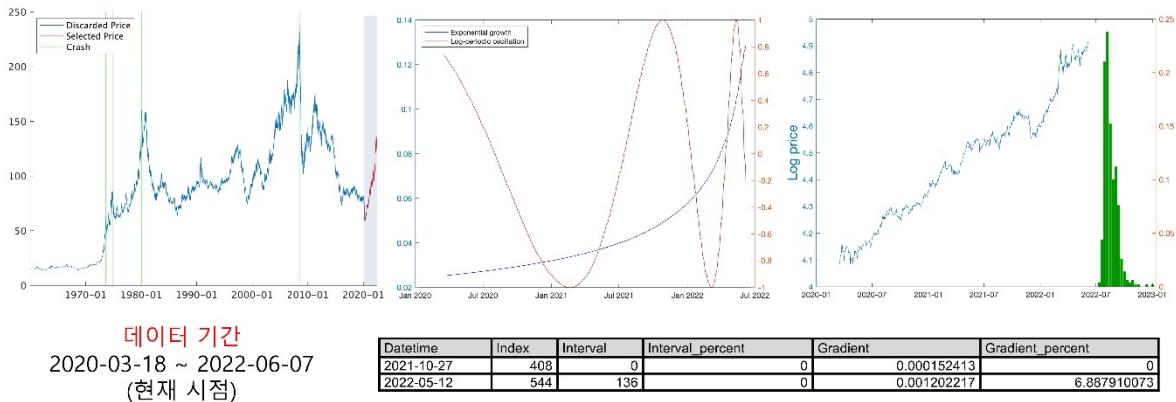
- AMC (2021-01-05 ~ 2021-05-18)
- BCOMALTR (2006-09-15 ~ 2008-06-12)
- BCOMALTR (2007-12-31 ~ 2008-06-12)
- BGCI (2018-08-04 ~ 2017-12-21)
- BGCI (2021-07-20 ~ 2021-10-12)
- BTC (2021-03-12 ~ 2021-03-24)
- CRM (2014-04-28 ~ 2015-11-05)
- CRM (2018-11-20 ~ 2020-01-22)
- CRM (2018-11-20 ~ 2020-02-05)
- ETH (2021-07-20 ~ 2021-10-19)
- LCID (2020-10-23 ~ 2021-01-20)
- NFLX (2019-11-13 ~ 2021-10-20) 등

2. There is a bubble risk.

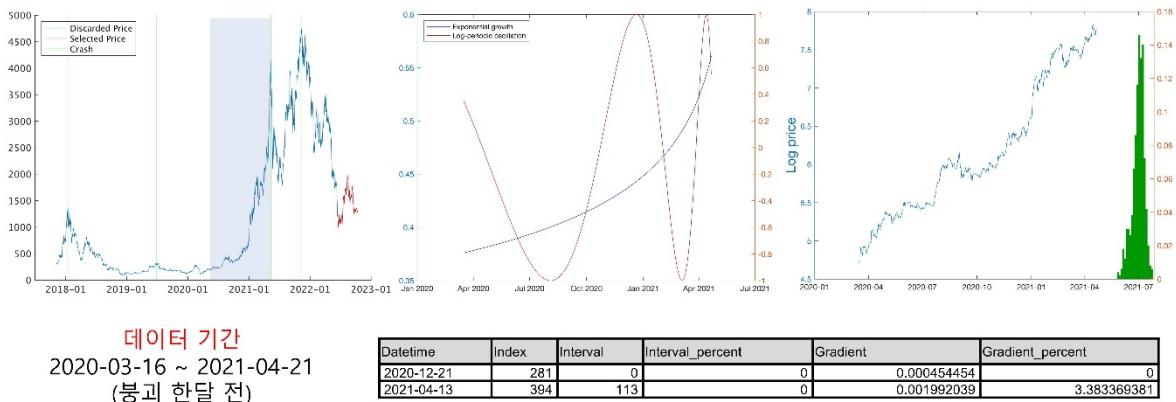
BCOMGCTR_Bloomberg Gold Subindex Total Return_Real Time



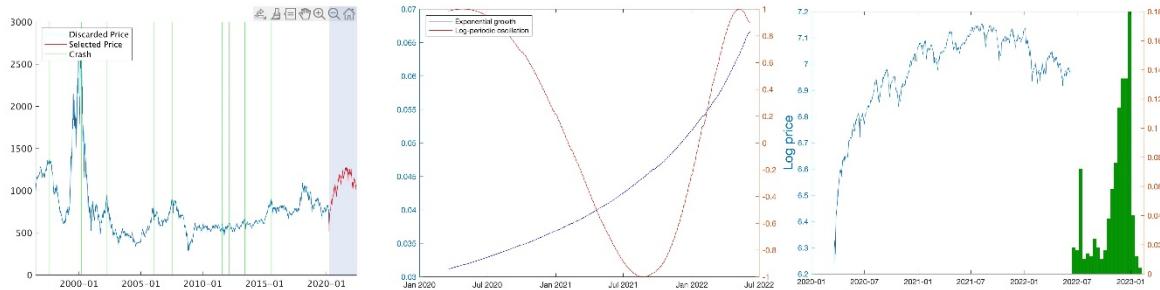
BCOM_Bloomberg Commodity Index_Real Time



ETH_Etherium_2021-05-21



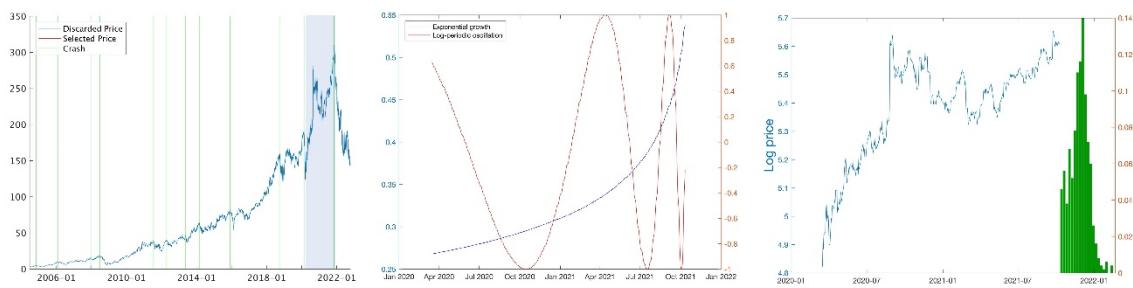
KOSDAQ_Real Time



데이터 기간
2020-03-19 ~ 2022-06-07
(현재 시점)

Datetime	Index	Interval	Interval_percent	Gradient	Gradient_percent
2020-04-24	26	0	0	2.43379E-05	0
2022-05-10	529	503	0	0.000179785	6.387061716

CRM_Salesforce_2021-11-11



데이터 기간
2020-03-16 ~ 2021-10-11
(붕괴 한달 전)

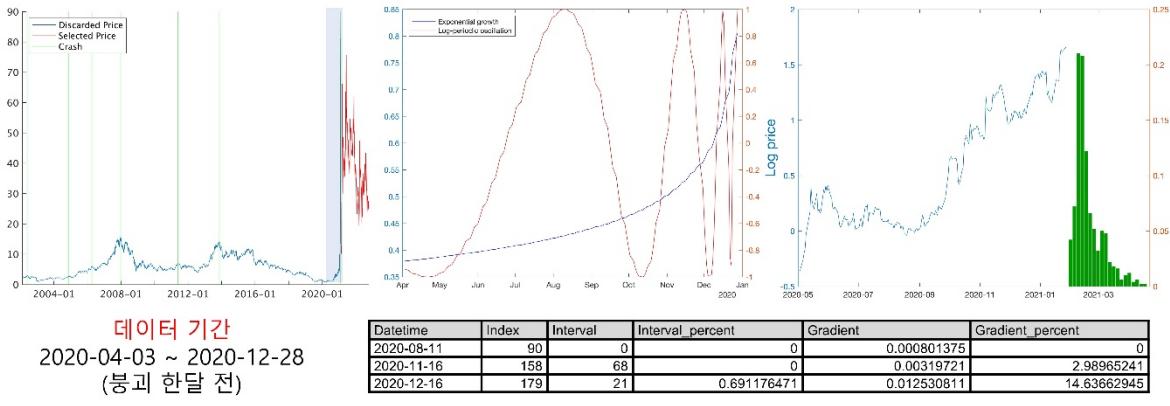
Datetime	Index	Interval	Interval_percent	Gradient	Gradient_percent
2021-04-13	272	0	0	0.000518705	0
2021-09-07	374	102	0	0.002401601	3.629991898

그 외

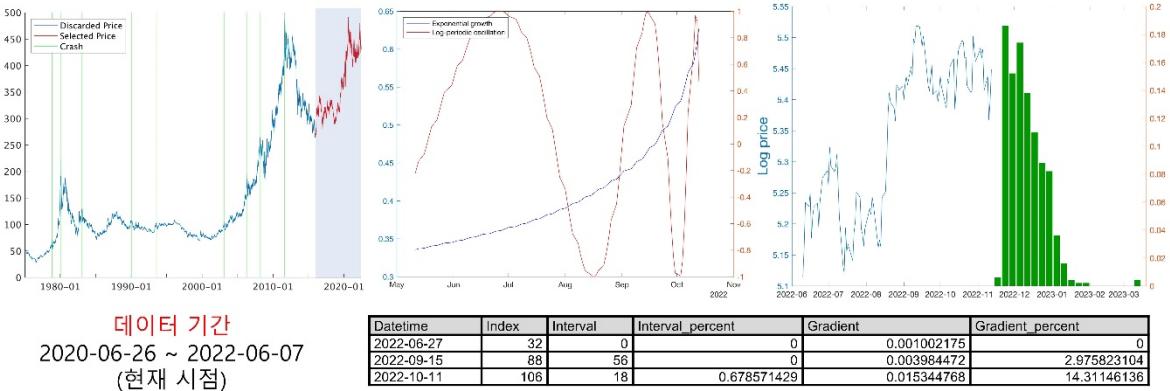
- BCOMAGTR (2001-10-22 ~ 2004-02-23)
- BCOMAGTR (2020-06-26 ~ 2022-06-07)
- BCOMALTR (1999-03-05 ~ 2006-04-13)
- BCOMALTR (2003-04-10 ~ 2006-04-13)
- BCOMHGTR (2010-06-07 ~ 2011-01-14)
- BGCI (2020-03-16 ~ 2021-04-13)
- BGCI (2020-03-16 ~ 2021-04-27)
- BGCI (2021-07-20 ~ 2021-11-05)
- BTC (2016-08-02 ~ 2017-11-26)
- BTC (2020-03-12 ~ 2021-04-07)
- BTC (2021-07-20 ~ 2021-11-02)
- CRM (2014-04-28 ~ 2015-11-19)
- DOGE (2020-11-02 ~ 2021-04-27)
- ETH (2017-11-10 ~ 2017-12-24)
- ETH (2021-07-20 ~ 2021-11-02)
- KOSDAQ (1996-07-01 ~ 1997-07-29)
- NFLX (2018-12-24 ~ 2021-10-20)
- NFLX (2018-12-24 ~ 2021-11-03)
- TSLA (2020-03-18 ~ 2020-12-24)
- TSLA (2020-03-18 ~ 2021-01-11) 등

3. There is a severe bubble risk

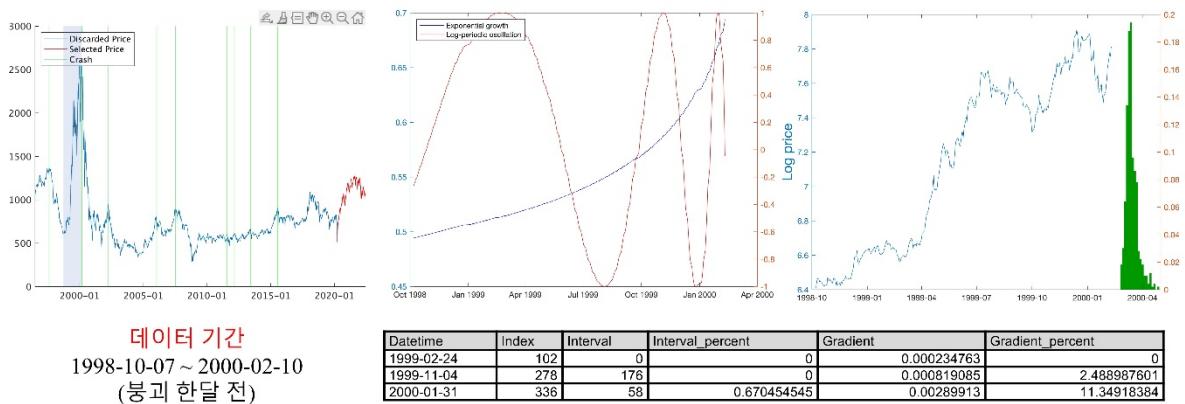
GME_Gamestop Short Squeeze



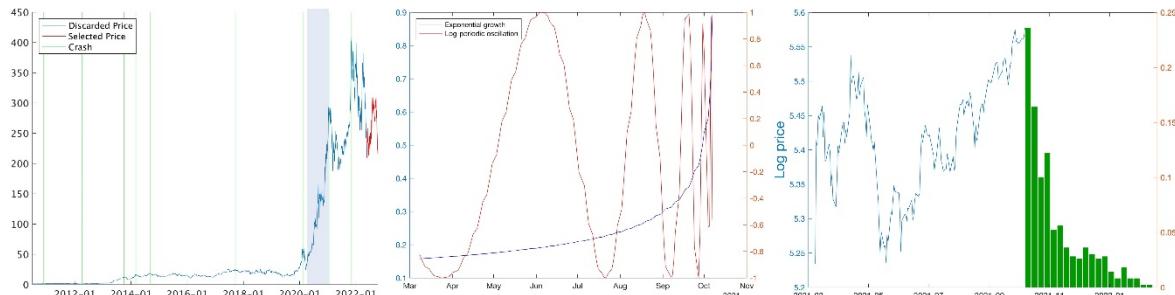
NFLX_Netflix_Real Time



KOSDAQ_Dotcom Bubble



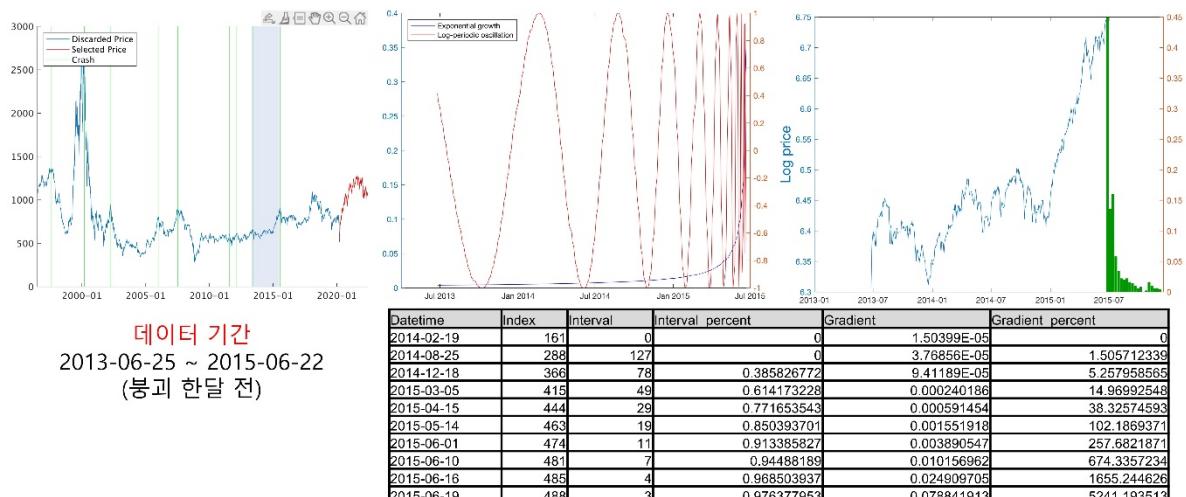
TSLA_Tesla_2021-11-07



데이터 기간
2021-03-08 ~ 2021-10-07
(붕괴 한달 전)

Datetime	Index	Interval	Interval_percent	Gradient	Gradient_percent
2021-06-04	63	0	0	0.000805803	0
2021-08-18	115	52	0	0.00274731	2.409406857
2021-09-20	137	22	0.576923077	0.010096485	11.52971969
2021-09-30	145	8	0.846153846	0.032898114	39.82650067
2021-10-06	149	4	0.923076923	0.163951314	202.4632871

KOSDAQ_2015 중국 증시 폭락



데이터 기간
2013-06-25 ~ 2015-06-22
(붕괴 한달 전)

Datetime	Index	Interval	Interval_percent	Gradient	Gradient_percent
2014-02-19	161	0	0	1.50399E-05	0
2014-08-25	288	127	0	3.76856E-05	1.505712339
2014-12-18	366	78	0.385826772	9.41189E-05	5.257958565
2015-03-05	415	49	0.614173228	0.000240186	14.96992548
2015-04-15	444	29	0.771653543	0.000591454	38.32574593
2015-05-14	463	19	0.850393701	0.001551918	102.1869371
2015-06-01	474	11	0.913385827	0.003890547	257.6821871
2015-06-10	481	7	0.94488189	0.010156962	674.3357234
2015-06-16	485	4	0.968503937	0.024909705	1655.244626
2015-06-19	488	3	0.976377953	0.078841913	5241.193513

그 외

- AMC (2014-05-09 ~ 2015-02-23)
- BCOM (1976-01-26 ~ 1980-01-14)
- BCOMAGTR (1922-10-02 ~ 1997-04-30)
- BCOMAGTR (2001-10-22 ~ 2004-03-08)
- BCOMAGTR (2006-09-12 ~ 2008-03-01)
- BCOMALTR (1993-11-03 ~ 1994-12-22)
- BCOMALTR (2009-02-23 ~ 2010-03-17)
- BCOMGCTR (2006-10-04 ~ 2008-02-19)
- BCOMGCTR (2008-11-13 ~ 2011-07-25)
- BCOMHGTR (2010-06-07 ~ 2011-01-31)
- BCOMSITR (1976-01-26 ~ 1980-01-19)
- BGCI (2018-12-14 ~ 2019-05-29)
- CRM (2016-02-08 ~ 2018-08-29)
- NFLX (2016-02-05 ~ 2018-06-08)
- TSLA (2019-06-03 ~ 2020-02-21) 등