

ver 1.0

NDIC-BFA 이변량 가뭄빈도해석 프로그램

사용자 설명서

2021. 12.



목 차

I. 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램 소개	1
1. 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램 구축 배경	1
가. 개요	1
나. 이변량 가뭄빈도 해석 과정	2
다. 프로그램에 대한 기본적인 이해	2
라. 프로그램의 활용 및 특징	3
II. 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램 설치 및 실행	6
1. 프로그램 설치	6
가. 하드웨어 사양	6
나. 소프트웨어 환경	6
다. 프로그램 설치	6
2. 프로그램 실행 절차	8
가. 프로그램 실행 절차 설명	8
나. 프로그램 GUI 설명	8
III. 가뭄빈도 해석 프로그램 사용 방법	10
1. 프로젝트 관리	10
가. 프로젝트 생성	10
나. 프로젝트 저장	11
다. 프로젝트 열기	11
2. 자료 입력	12

가. 입력자료 생성	12
나. 입력자료 정의	13
다. 분석 실행을 위한 입력 자료 유형	20
3. 전처리	21
가. Anomaly 산정	21
나. 지속기간 및 심도 산정	22
4. 이변량 가뭄빈도 해석	25
가. 최적 주변확률분포 선정	25
나. 최적 Copula 함수선정	26
5. 결과	28
가. 이변량 빈도해석 결과	28
참고문헌	31

표 목 차

표 II-1 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램 절차별 GUI 설명	9
표 III-1 입력자료 및 분석 특성	12
표 III-2 입력자료 생성 과정	12
표 III-3 자료 입력 Case 구분	20

그림 목 차

그림 I-1 이변량 가뭄빈도 해석 순서도	2
그림 I-2 Copula 모형 모식도	2
그림 I-3 이변량 가뭄 재현기간 해석 예시	3
그림 I-4 가뭄사상별 특성값 추출 결과표 예시	4
그림 I-5 강수 누적기간 3개월 적용 가뭄사상 추출 결과 예시	4
그림 I-6 강수 누적기간 12개월 적용 가뭄사상 추출 결과 예시	5
그림 I-7 확률분포 추천 예시	5
그림 II-1 프로그램 설치 과정 1	6
그림 II-2 프로그램 설치 과정 2	7
그림 II-3 가뭄빈도해석프로그램 GUI	8
그림 III-1 프로젝트 생성	10
그림 III-2 프로젝트 저장	11
그림 III-3 프로젝트 열기	11
그림 III-4 분석대상 명칭 설정	13
그림 III-5 자료 구분 지정	13
그림 III-6 자료 단위 지정	14
그림 III-7 자료 입력 설정	14
그림 III-8 Sample 입력 자료	15
그림 III-9 자료 변환 전 화면	15
그림 III-10 자료 변환 후 화면	16
그림 III-11 자료 입력 불가 시 화면	17
그림 III-12 자료 단위별 예시(일자료)	17
그림 III-13 자료 단위별 예시(월자료)	18

그림 III-14 변환된 입력 자료 시계열 그래프 예시	19
그림 III-15 변환된 입력 자료 Table 예시	19
그림 III-16 변환된 입력자료 출력	19
그림 III-17 자료 입력 Case flow chart	20
그림 III-18 Anomaly 산정 방법	21
그림 III-19 Anomaly 연산 결과 화면	22
그림 III-20 지속기간 및 심도 산정 화면	23
그림 III-21 지속기간 및 심도 산정 결과 화면	23
그림 III-22 최적 주변확률분포 선정 화면	25
그림 III-23 최적 Copula함수 선정 화면	26
그림 III-24 이변량 가뭄빈도 분석 실행	28
그림 III-25 이변량 가뭄빈도 분석 결과(그래프)	29
그림 III-26 이변량 가뭄빈도 분석 결과(테이블)	29
그림 III-27 가뭄 지속기간과 심도 입력을 통한 재현기간 분석	30
그림 III-28 재현기간 분석 결과 화면	30

I 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램 소개

1. 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램 구축 배경

가. 개요

- 1) 본 프로그램은 가뭄 심도(severity)와 가뭄 지속기간(duration)의 두 가지 특성을 함께 고려하여 신뢰도 높은 가뭄빈도 정보를 사용자가 직접 생산하고 활용할 수 있도록 개발되었다.
- 2) 빈도해석은 극치자료의 무작위성을 기본가정으로 확률밀도함수로부터 재현기간과 동일한 의미를 갖는 초과확률(exceedance probability) 또는 비초과확률(nonexceedance probability)에 해당하는 수문량을 평가하는 과정으로 수자원설계에 있어 가장 근간이 되는 과정이라 할 수 있다.
- 3) 특정 극치사상 자료에 대한 특성 분석 시 수문자료에 대한 빈도해석은 일반적으로 단일 확률변수를 기준으로 이루어지는 단변량(univariate) 해석 방법이 활용된다. 그러나 두 가지 이상의 변량이 서로 상관성을 가지는 경우 다변량(multivariate) 빈도해석이 요구되며, 이를 단변량으로 해석할 경우 재현기간의 과소추정 등의 문제점이 발생할 수 있다.
- 4) 최근 이러한 점을 개선하기 위하여 다변량 빈도해석에 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있다(Kwon and Lall, 2016; Vaziri et al., 2018).
- 5) 특히, 가뭄의 경우, 강도(intensity)뿐만 아니라 지속기간(duration), 심도(severity)도 매우 중요한 인자로 고려되고 있으며, 가뭄 지속기간과 심도의 경우 두 인자 간의 상관성이 매우 크기 때문에 단변량 가뭄빈도해석보다 다변량으로 가뭄빈도해석을 수행하는 것이 가뭄위험도 평가측면에서 유리하다고 알려져 있다(Shiau and Shen, 2001; Kim et al., 2017).
- 6) 이에 따라, K-water에서는 Copula 함수를 이용해 두 변량을 동시에 고려한 빈도해석을 수행할 수 있는 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램(NDIC-BFA^{*})을 개발하여 배포하고 있다.

^{*} National Drought Information Analysis Center - Bivariate Frequency Analysis

- 7) 프로그램에 강수량, 지수 중 분석 목적에 따라 자료를 입력하면 전처리 후 사용자가 설정한 분석 옵션에 따른 빈도해석 결과를 출력물로 제공한다.

나. 이변량 가뭄빈도 해석 과정

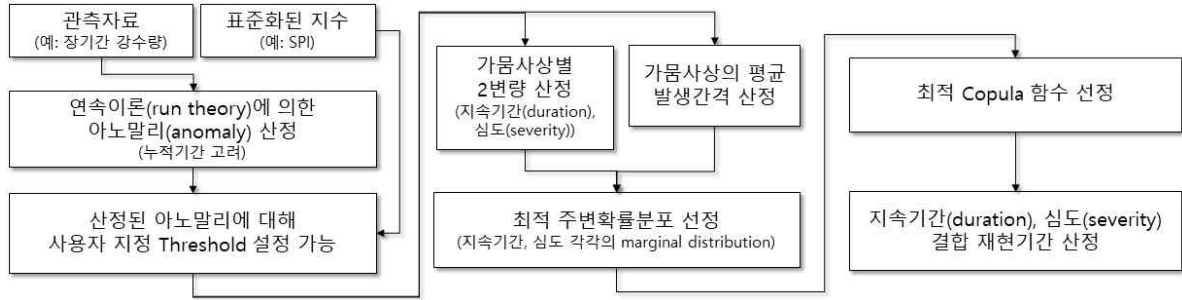
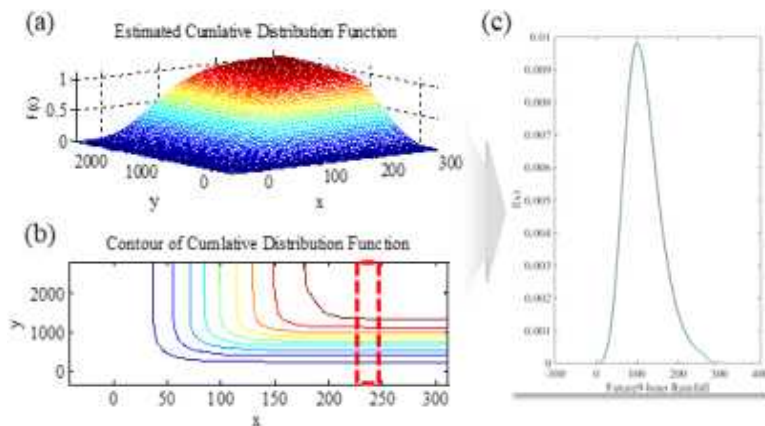


그림 1-1 이변량 가뭄빈도 해석 순서도

다. 프로그램에 대한 기본적인 이해

- 1) 이변량 가뭄빈도해석은 누적 기간(cumulative period)을 설정해 변환한 강수량으로부터 연속이론(run theory)에 의해 추출한 강수 아노말리 또는 표준강수지수(SPI) 등을 이용해 가뭄사상을 추출하고, 이로부터 각 가뭄사상의 가뭄 지속기간(duration)과 심도(severity)를 추출한다.
- 2) 가뭄 지속기간과 심도에 해당하는 주변확률분포(marginal distribution)를 추정하고, 각 변량의 최적 주변확률분포를 선택한다.
- 3) Copula 함수는 주변확률분포를 결합 확률분포로 연결시키는 함수로 가뭄 지속기간 확률분포와 가뭄 심도 확률분포를 결합한 확률분포를 생성한다.
- 4) 다양한 Copula 함수 중 의존관계를 가장 잘 설명하는 함수를 선택해 재현기간(빈도)을 산정한다.



※ (a)는 두 개 변량(x, y)의 누적확률분포(CDF, $F(x)$)를 나타냈으며 이를 특정 $F(x)$ 값으로 잘라서 평면을 보면 (b)와 같이 나타남
 ※ (b)의 빨간 박스 방향으로 평면을 보면 (c)와 같이 결합 확률밀도함수를 산정할 수 있음

그림 1-2 Copula 모형 모식도

라. 프로그램의 활용 및 특징

- 1) 단변량 가뭄빈도 해석 프로그램(NDIC-FAT)은 현재 가뭄이 심하여 강수량이 평소보다 작은 값을 보이거나 낮은 가뭄지수를 나타낼 경우, 현재를 기점으로 1개월 누적, 3개월 누적 등 분석 기간을 고정한 상태에서 과거 동일 기간에 비해 현재의 강수량 또는 유입량이 얼마나 적은 양인지를 재현기간(빈도)으로 알아보고자 할 때 유용하게 사용할 수 있다.
- 2) 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램(NDIC-BFA)은 현재라는 분석 기점을 설정하지 않는다. 전 기간 자료 분석을 통해 Anomaly 개념의 가뭄 사상을 추출하기 때문에, 동일 규모의 가뭄이 각기 다른 발생 시점과 지속기간 및 심도를 가질 수 있다.
- 3) 이러한 점은 해당 지점의 가뭄위험도 평가 측면에서 특정 기간을 고정하여 분석하는 한계를 넘어 가뭄의 특성을 더 잘 반영한 결과를 도출할 수 있게 해준다. 분석 결과를 이용해 지속기간은 길지만 강수 부족량은 그리 크지 않은 가뭄, 반대로 짧은 지속기간 동안 극심한 강수 부족이 있었던 가뭄 등 가뭄의 특성을 좀 더 잘 표현할 수 있는 변량들이 조합된 재현기간(빈도)을 산정할 수 있는 장점이 있다.
- 4) 같은 규모의 가뭄이 다른 시기에 발생한 경우들도 빈도 해석의 자료로 이용되기 때문에, 기간 고정 후 단변량(강수량) 해석을 통해 도출되는 빈도와는 다른 의미의 결과를 도출하게 된다.

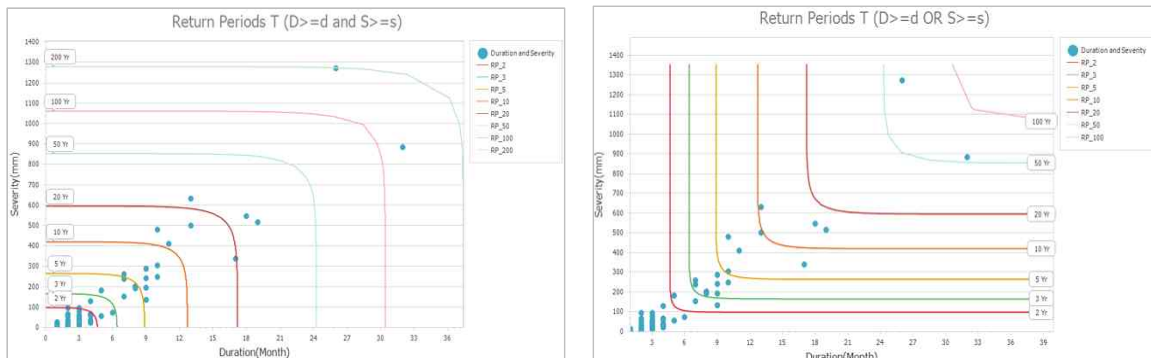


그림 1-3 이변량 가뭄 재현기간 해석 예시

- 5) 사용자가 원하는 누적 기간(cumulative period)을 설정하여 분석 목적에 맞는 가뭄 사상을 간편하게 추출할 수 있다.
- 6) 여기서 누적 기간은 강수량의 누적 합을 계산하는 개월 수를 뜻하며, 한 달씩 이동하며 누적 기간의 이동 합(moving sum)을 구하는 잣대이다. SPI를 산정할 때 강수량 자료의 누적 기간에 따라 SPI-1, SPI-3, SPI-6 등이 산정되는 개념으로 이해할 수 있다.
- 7) 본 프로그램에서 산정되는 Accumulated Anomaly Data에서 0 이하로 내려

간 빨간색 막대그래프가 연속된 구간이 하나의 가뭄 사상이며, 가뭄 사상이 연속된 기간을 가뭄 지속기간(duration)이라 한다.

- 8) 가로 기준선인 0을 기준으로 위아래로 벗어난 각 막대그래프의 길이는 해당 월과 동일한 월의 과거 전 기간 강수 평균 값과의 차이로 나타낸 강수 과부족 양으로 이해할 수 있다.
- 9) 하나의 가뭄 사상을 이루는 각 월의 강수 부족량들을 모두 합한 값을 가뭄 심도(severity)라 한다.
- 10) SPI의 경우 1~3개월 정도의 짧은 누적 기간을 통해 산정된 SPI는 기상학적 가뭄 특성을 보여주며, 누적 기간이 3~6개월 정도는 강수 부족이 오랫동안 지속되어 토양수분이 부족해지는 단계인 농업적 가뭄을, 6~12개월 이상의 누적 기간을 갖는 SPI는 저수지와 하천의 수량에까지 영향을 미치는 수문학적 가뭄을 표현하는 것으로 알려져 있다.
- 11) 본 프로그램에서 사용자가 설정하는 누적 기간도, 위에서 설명한 SPI의 경우처럼 사용자가 분석하고자 하는 가뭄의 종류에 따라 강수 부족의 영향이 전파되는 기간을 고려하여 설정할 필요가 있다.

시작월	종료월	지속기간(Month)	심도
▶ 1961-01	1961-03	3	77.97
1961-06	1961-08	3	48.90
1962-03	1963-01	11	410.08
1963-03	1963-03	1	3.34
1963-12	1964-03	4	130.59
1965-03	1965-10	8	199.30
1966-01	1966-02	2	34.16
1966-05	1966-06	2	17.85
1967-07	1968-11	17	339.17
1970-03	1970-05	3	53.11
1970-08	1970-08	1	16.26

그림 1-4 가뭄사상별 특성값 추출 결과표 예시

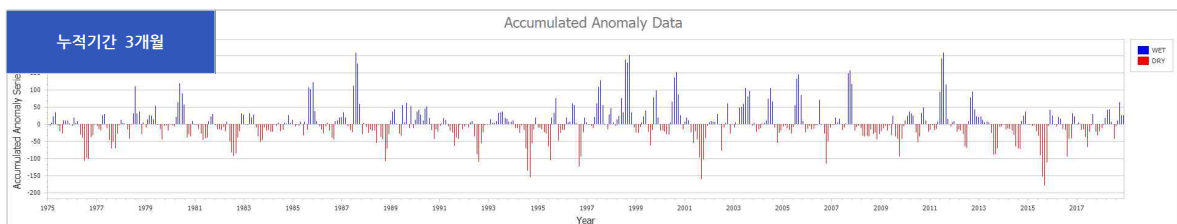


그림 1-5 강수 누적기간 3개월 적용 가뭄사상 추출 결과 예시

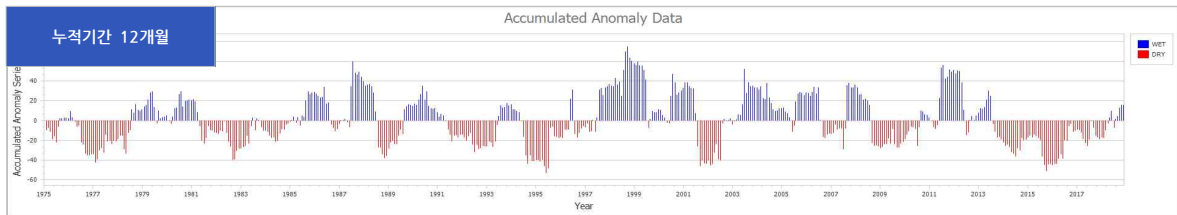


그림 1-6 강수 누적기간 12개월 적용 가뭄사상 추출 결과 예시

- 12) 최적 주변확률 분포 및 Copula 함수를 Log Likelihood, AIC(Akaike information criterion), BIC(Bayesian information criterion) 기준으로 추천하여 사용자가 적정 확률분포 선택을 통한 분석을 수행할 수 있도록 하였다.

분포명	추정값-shape	추정값-scale	Log Likelihood	AIC	BIC
norm	5.542	5.737	-227.945	459.890	464.443
lnorm	1.313	.875	-187.105	378.210	382.763
gamma	1.395	.252	-193.057	390.115	394.668
exp	.180	NaN	-195.285	392.571	394.847
weibull	1.125	5.822	-194.391	392.782	397.336
llogis	1.954	3.603	-188.813	381.626	386.179
logis	4.506	2.646	-218.163	440.327	444.880
pareto	34.702	186.723	-195.249	394.498	399.052

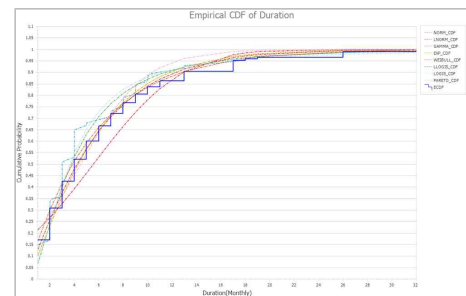


그림 1-7 확률분포 추천 예시

- 13) 사용자는 빈도 해석을 수행하고자 하는 강수량 자료를 일 단위 또는 월 단위의 형태의 파일로 준비하여야 한다. 일 단위 및 월 단위 강수량 자료를 이용할 경우 입력 자료의 파일 형식 및 구조는 프로그램 설치 시 제공되는 Sample 파일을 다운로드하여 참고하기 바란다.
- 14) 지수의 경우 이미 정규화 과정을 거쳐 월 단위로 산정된 결과이기 때문에, Anomaly 산정 단계를 거치지 않고 바로 빈도해석을 수행할 수 있도록 하였으며, 입력 자료의 형태는 강수량과 마찬가지로 프로그램 설치 시 제공되는 Sample 파일을 참고하기 바란다.

* Sample 파일 설치경로 : C:/NDIC_BFA/SampleData

II 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램 설치 및 실행

1. 프로그램 설치

가. 하드웨어 사양

- 1) HDD 1G 이상 저장 공간
- 2) CPU : Pentium 1GHz 이상
- 3) MEMORY : 2GB RAM 이상

나. 소프트웨어 환경

- 1) .NET Framework 4.0 이상
- 2) 32/64 bit 이상의 Window 운영체제
- 3) Microsoft Excel 2007 (x86) 이상

다. 프로그램 설치

- 1) 'Setup.exe' 파일을 우클릭한 후 관리자 권한으로 실행하여 설치를 진행하면 'C 드라이브'에 설치가 진행되므로 설치 및 분석에 필요한 용량을 확보해야 한다.
* 설치경로 : C:/Program Files(x86)/NDIC_BFA/
- 2) 윈도우10인 경우 처음 설치파일을 실행하면 다음과 같은 'Windows의 PC 보호' 메시지 화면이 팝업된다. 아래 그림처럼 '추가정보'를 클릭하고 '실행'을 클릭하여 설치를 진행한다.

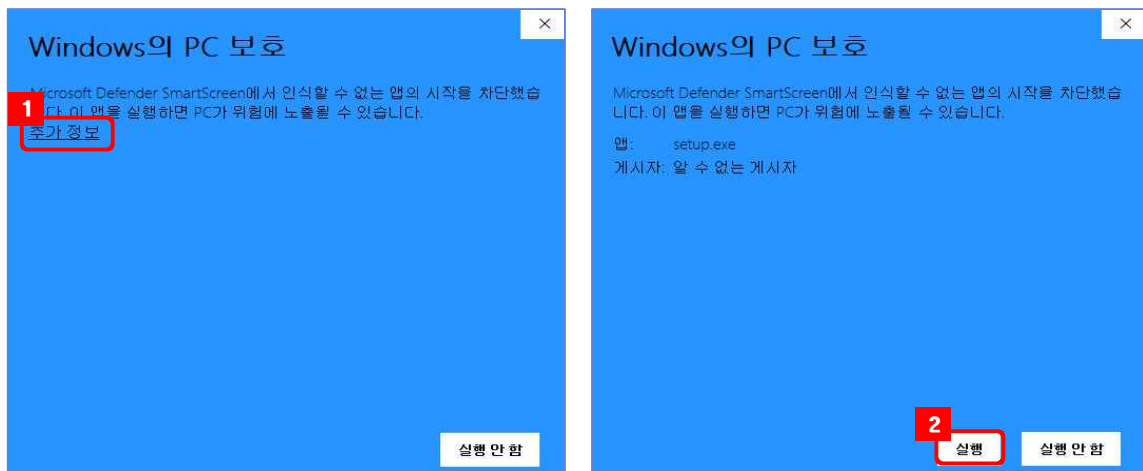


그림 II-1 프로그램 설치 과정 1

3) 그 후 아래처럼 설치를 진행한다.

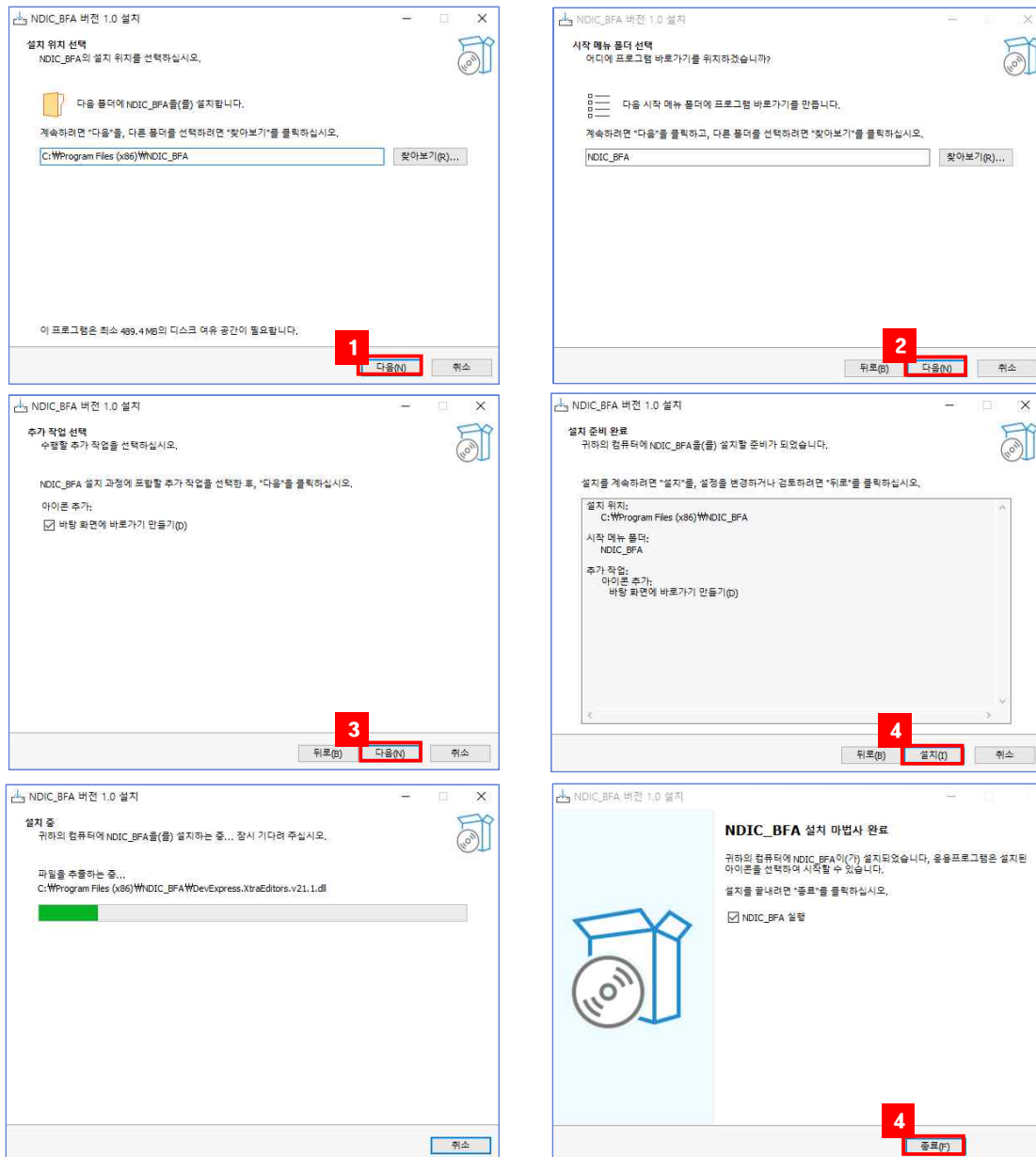


그림 II-2 프로그램 설치 과정 2

4) 설치가 모두 마무리되면 바탕화면에 설치된 'NDIC-BFA 가뭄빈도'를 실행시켜 이변량 가뭄빈도 해석을 수행할 수 있다.



〈NDIC_BFA 아이콘〉

2. 프로그램 실행 절차

가. 프로그램 실행 절차 설명

△ 가뭄빈도 해석 프로그램은 다음 5가지의 절차를 통해 진행된다.

- 1) (프로젝트) 가뭄빈도를 해석하는 프로젝트에 대해 신규생성, 저장, 불러오기를 한다.
- 2) (자료입력) 양식에 맞춘 데이터를 입력하여 빈도 해석을 하기 위한 데이터로 변환한다.
- 3) (전처리) 연속이론(run theory)을 기반으로 누적 기간(cumulative period)을 반영한 아노말리 분석 결과와 문턱값(Threshold)을 반영한 가뭄 사상을 추출한다.
- 4) (이변량분석) 추정된 확률분포의 다양한 검정을 통해 최적의 주변 확률분포와 Copula 함수를 선정한다.
- 5) (결과) 이변량 빈도 해석에 따른 재현기간(빈도)을 표출한다.


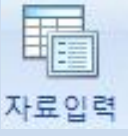


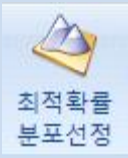




나. 프로그램 GUI 설명

- 1) 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램은 사용자가 쉽게 이해하고 사용할 수 있도록 GUI를 아래와 같이 구성하였다.
- 2) 각 절차별 GUI 및 설명은 아래 표에서 확인할 수 있다.



그림 II -3 가뭄빈도해석프로그램 GUI

표 II-1 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램 절차별 GUI 설명

구분	아이콘	설명
① 프로젝트 관리	 프로젝트	프로젝트를 생성·저장·불러오는 등 관리한다.
② 데이터 입력	 자료입력	이변량 가뭄빈도 해석에 사용될 데이터를 입력하고 변환한다.
③ 분석 결과	 Anomaly 산정	누적 기간(cumulative period)을 설정하고 Anomaly 분석 결과를 표출한다.
	 지속기간 및 심도 산정	Threshold를 설정하고 가뭄 지속기간 및 심도를 산정한다.
④ 확률 분포형 선정	 최적확률 분포선정	가뭄 지속기간 및 심도 각각에 대한 최적 주변확률 분포(marginal distribution)를 선정한다.
	 최적Copula 함수선정	이변량(가뭄 지속기간 및 심도)을 동시에 고려한 최적 Copula 함수를 선정한다.
⑤ 결과 조회	 이변량빈도 분석	이변량 빈도해석 결과를 확인한다.
⑥ 프로그램 소개	 프로그램 소개	프로그램에 대한 정보를 제공한다.
⑦ 도움말	 도움말	프로그램에 대한 사용자 설명서를 제공한다.

III 가뭄빈도 해석 프로그램 사용방법

1. 프로젝트 관리

△ 이변량 가뭄빈도해석 프로그램을 실행하면 가장 먼저 가뭄빈도해석을 수행할 프로젝트를 정해야 한다. 새로운 프로젝트를 생성하여 빈도해석을 진행할 수 있으며, 빈도해석을 진행하던 프로젝트를 저장하고 저장된 프로젝트를 불러서 다시 진행하거나 결과를 확인할 수 있다.

가. 프로젝트 생성

- 1) ‘프로젝트’ 아이콘을 클릭하고 ‘New Project’를 클릭한다.
- 2) 아래 그림과 같이 프로젝트 경로 및 프로젝트명을 설정하여 프로젝트를 생성한다.
- 3) 프로젝트를 생성하면 설정된 프로젝트 경로인 ‘C:\NDIC_BFA\’ 하위 폴더에 프로젝트명으로 된 폴더가 생성된다.
- 4) 프로젝트를 생성한 후 ‘자료입력’ 단계로 넘어갈 수 있다.

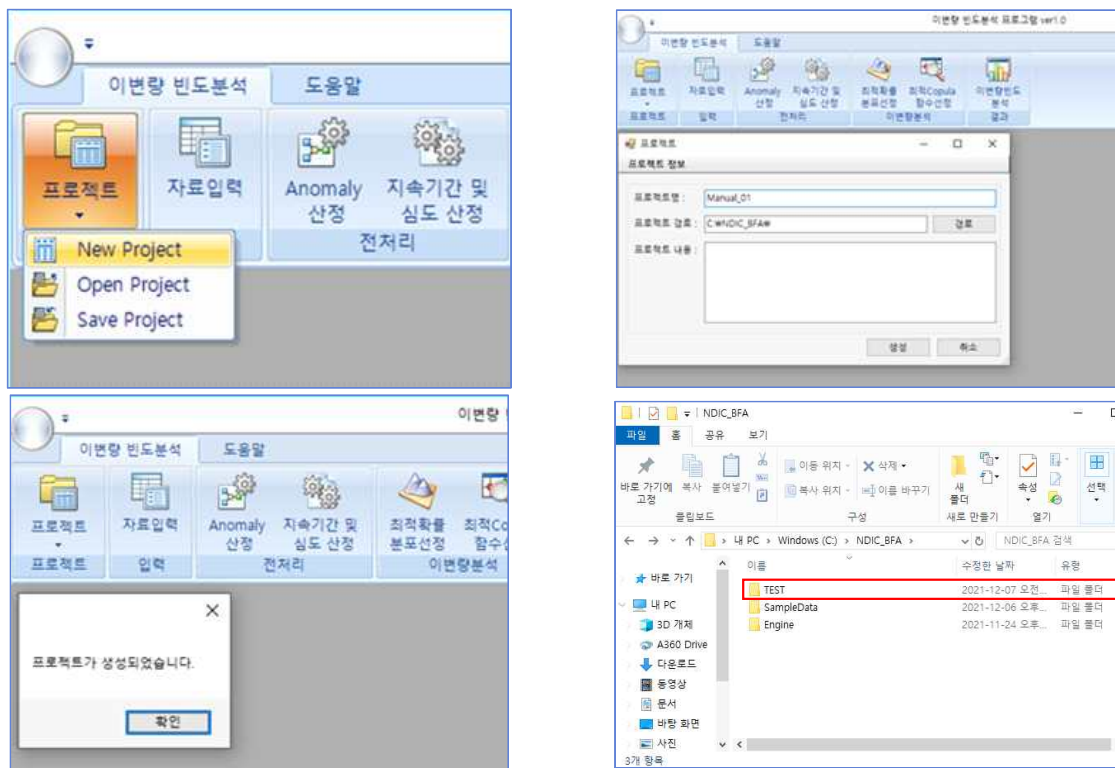


그림 III-1 프로젝트 생성

나. 프로젝트 저장

- 1) 프로젝트 아이콘내 ‘Save Project’를 클릭한다.
- 2) 프로젝트명으로 된 폴더 안에 “*.NDIC” 파일이 생성된다.
- 3) 기존에 진행하던 분석 내용이 저장된다.

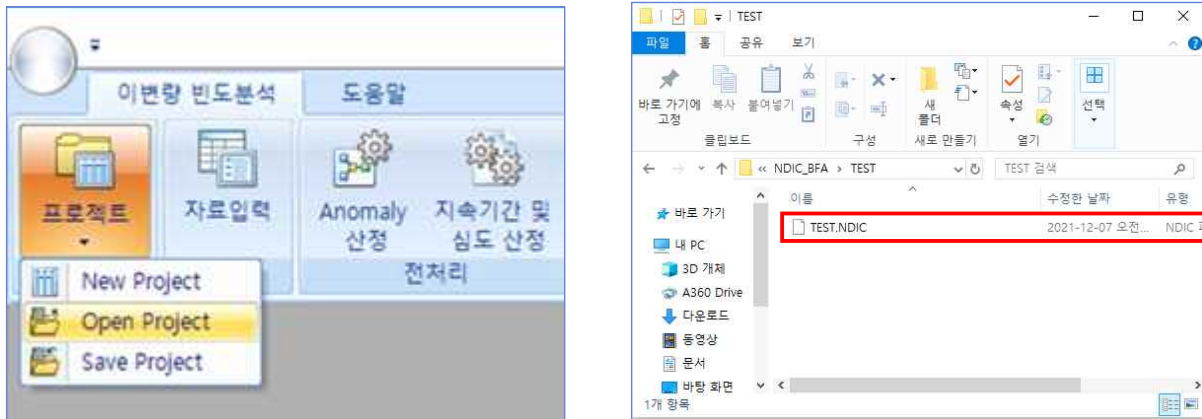


그림 III-2 프로젝트 저장

다. 프로젝트 열기

- 1) 프로젝트 아이콘의 ‘Open Project’를 클릭한다.
- 2) 아래 그림과 같이 기존에 설정한 저장경로에 있는 프로젝트명으로 된 폴더로 들어간다.
- 3) “*.NDIC“ 파일을 클릭하여 프로젝트를 불러온다.
- 4) 기존에 진행했던 프로젝트를 불러온 후 이어서 분석을 진행한다.

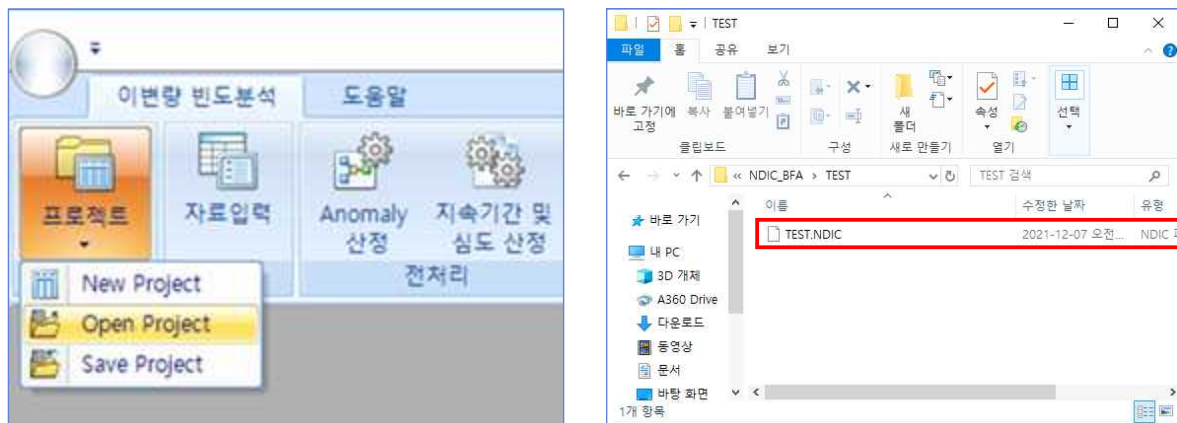


그림 III-3 프로젝트 열기

2. 자료 입력

가. 입력자료 생성

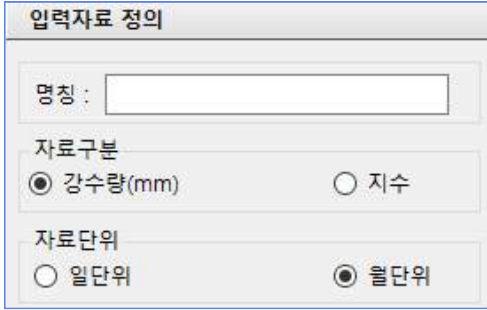

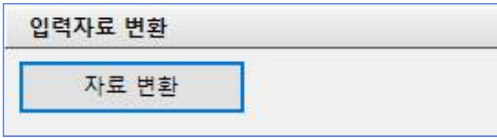

- 1) 기존에 가지고 있는 자료를 프로그램에 입력할 자료로 변환한다.
- 2) 입력 자료의 특성, 빈도 분석 단위 등을 설정하여 자료를 변환한다. 고려할 특성은 다음과 같다.

표 III-1 입력자료 및 분석 특성

특성	종류
◦ 자료 구분	강수량, 지수
◦ 자료 단위	일 자료, 월 자료(지수는 월 단위만 입력 가능)
◦ 파일 유형	.xlsx, .csv, .txt

- 3) 입력자료 생성은 4단계로 구성되어 있다. 각 단계에 대한 설명은 다음과 같다.

표 III-2 입력자료 생성 과정

단계	GUI	설명
① 입력 자료 정의		입력할 자료의 명칭(입력), 자료 구분(강수량 또는 지수), 자료 단위(일, 월)를 정의한다.
② 자료 입력		파일의 유형을 설정하고 입력할 자료를 불러온다.
③ 입력 자료 변환		월 단위 자료로 변환한다.
④ 결과 조회		변환된 결과를 확인한다.

나. 입력자료 정의

△ 명칭, 자료구분, 자료단위로 구성되어 있으며, 입력할 자료의 특성을 정의한다.

1) 명칭 : 분석대상 명칭을 작성한다.

입력자료 정의

명칭 :

자료구분
☒ 강수량(mm) ☐ 지수

자료단위
☐ 일단위 ☒ 월단위

그림 III-4 분석대상 명칭 설정

2) 자료 구분 : 입력 자료의 유형을 선택한다. 보유한 원시자료의 단위를 입력 자료의 단위에 맞도록 전처리를 하여 입력한다.

- 강수량 : 'mm' 단위의 강수량
- 지 수 : SPI, SPEI 등의 가뭄지수

입력자료 정의

명칭 :

자료구분
☒ 강수량(mm) ☐ 지수

자료단위
☐ 일단위 ☒ 월단위

그림 III-5 자료 구분 지정

3) 자료 단위 : 입력 자료의 단위를 선택한다. 보유한 원시자료의 단위를 일단위 또는 월 단위에 맞도록 입력 자료를 전처리하여 입력한다. 자료 구분이 지수일 경우 월 단위만 선택할 수 있다.

- 일단위 : 강수량 자료일 경우 일 단위의 연속 자료
- 월단위 : 강수량 자료일 경우 월 단위 누적 강수량 자료, 지수 자료일 경우 월 단위 가뭄지수

입력자료 정의

명칭 :

자료구분

☒ 강수량(mm) ☐ 지수

자료단위

☐ 일단위 ☒ 월단위

그림 III-6 자료 단위 지정

4) 자료 입력

주의

- ‘자료 입력’ 부분이 프로그램 실행 중 가장 중요한 부분이다. 자료 입력 부분에서 오류가 있거나, 정확한 의미를 알고 입력하지 않으면 프로그램을 통해 원하는 결과를 구할 수 없다.
- 사용자가 가진 각기 다른 자료를 프로그램이 받아들이는 자료 양식으로 변환하는 것이 번거롭고 힘든 일이지만 가장 중요한 부분이다.

- 입력할 자료의 파일 유형을 선택하고 자료를 불러온다.
- 입력하는 파일 유형은 3가지다. (.xlsx, .csv, .txt)
- 프로그램 설치 시 Sample 파일이 함께 저장되며 ‘샘플 보기’를 눌러 확인할 수 있다.
- 프로그램 설치 시 Sample 파일의 위치는 C:\NDIC_BFA\SampleData 이다.

자료입력

파일유형

☐ .xlsx ☒ .csv ☐ .txt

자료 불러오기 샘플 보기

그림 III-7 자료 입력 설정

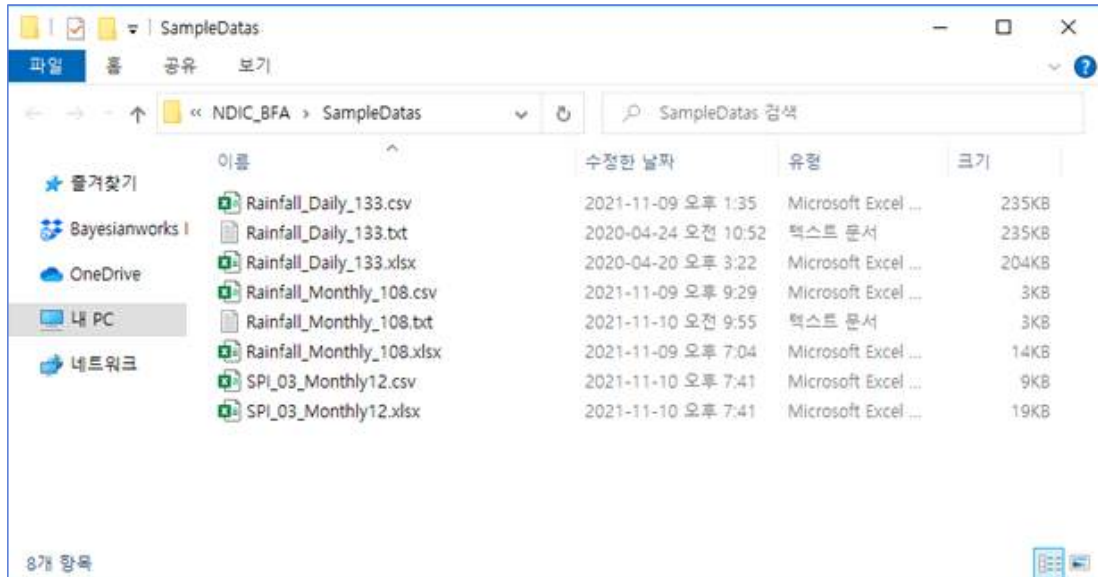


그림 III-8 Sample 입력 자료

5) 입력 자료 변환

- 자료 변환 : '자료변환' 버튼을 클릭하여 앞서 입력한 설정에 따라 불러온 자료를 변환한다. 변환된 자료는 아래 그림과 같이 프로그램 내에서 확인이 가능하다.
- 자료 입력 : 최종적으로 '확인' 버튼을 눌러 자료입력을 완료한다.

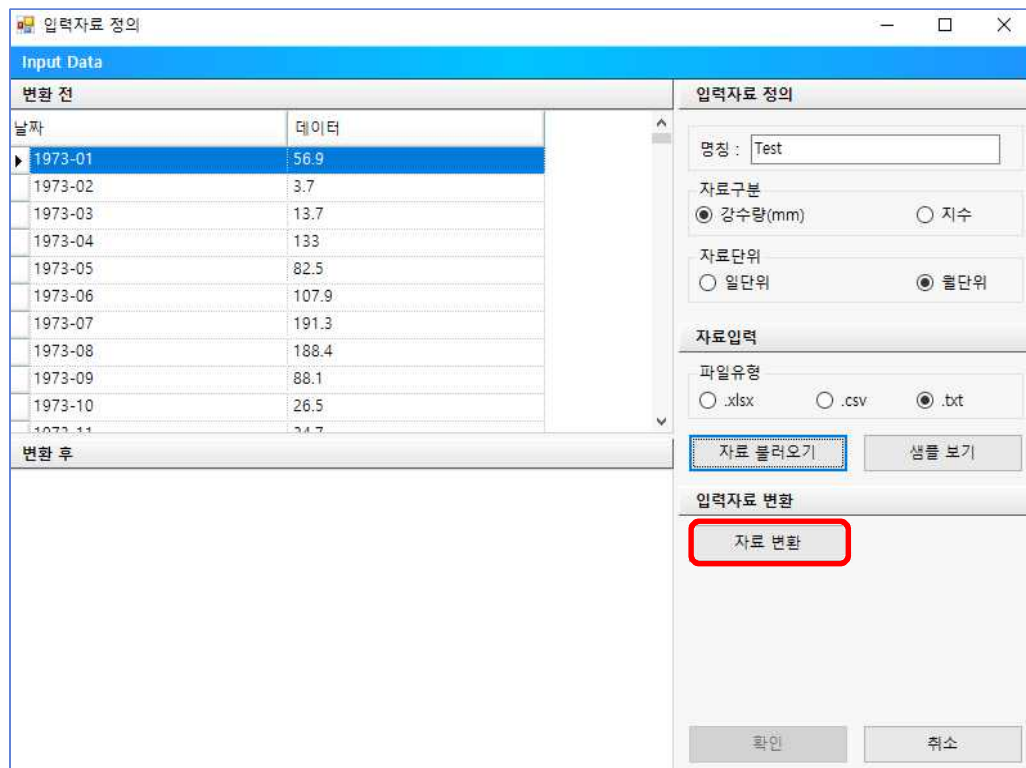


그림 III-9 자료 변환 전 화면

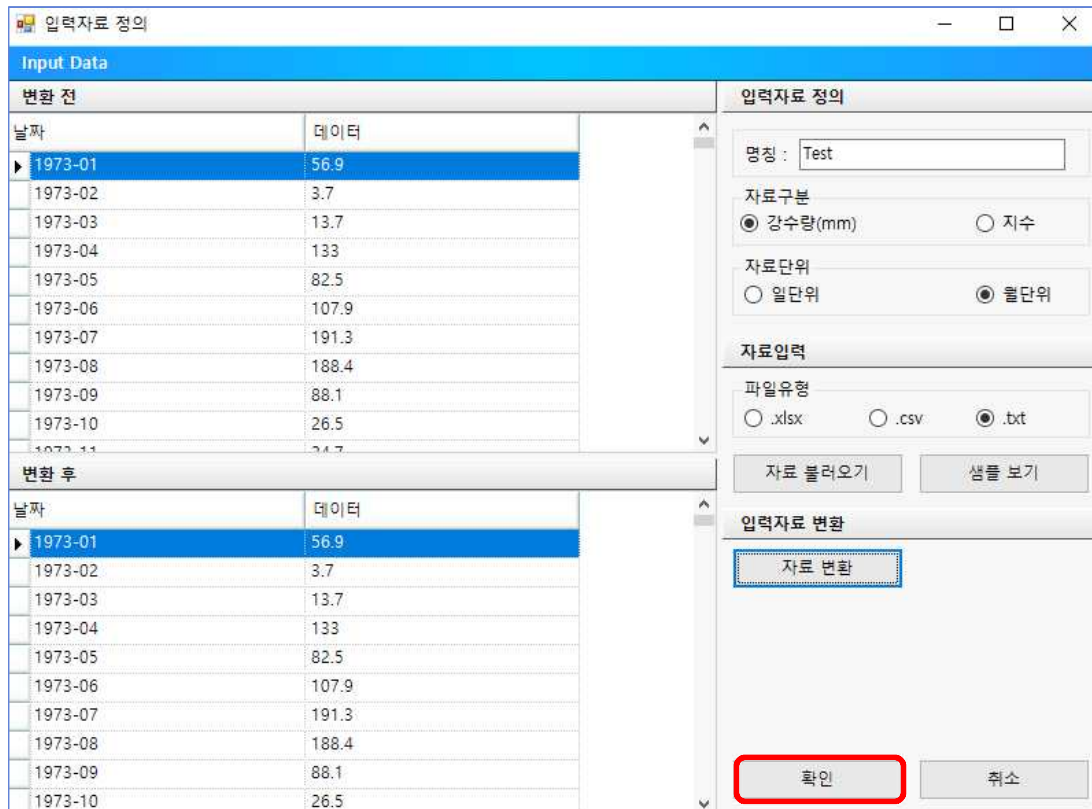


그림 III-10 자료 변환 후 화면

※ 자료 불러올 때 주의사항

- Data(수문량)가 공백(Null)일 경우 자료를 불러올 수 없다.
- 월(monthly) 자료에서 월이 누락 된 경우 자료를 불러올 수 없다.
- TXT 자료는 공백(space)으로 구분되어야 한다(Tab으로 구분된 경우 불러올 수 없음).
- 분석 단위에 따라 정해진 양식이 다르다.
 - 일(Daily) 자료
 - : 2열로 구성되어 있으며 A열은 날짜(YYYY-MM-DD), B열은 수문량이다.
 - * txt 파일인 경우 필히 YYYY-MM-DD의 양식으로 입력해야 한다.
 - 월(Monthly) 자료
 - : 13열로 구성되어 있으며 A열은 연도(YYYY), B~M열은 1월부터 12월의 수문량이다.
- 입력한 자료가 선택한 자료 단위 및 입력양식에 맞지 않는 경우 '입력양식에 맞지 않아 자료입력이 불가능합니다.'라는 팝업창이 나타나고 자료가 입력되지 않는다.

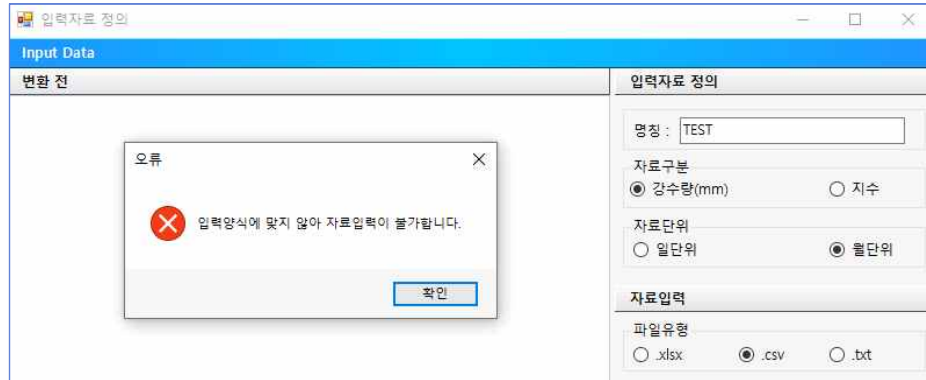


그림 III-11 자료 입력 불가 시 화면

- **파일 유형**에 따라 첫 행을 불러오는 방식이 다르다.
 - Excel, CSV
 - : 자료의 첫 행은 Header로 인식하여, 자료의 **두 번째 행부터** 불러온다.
(첫 행부터 Data가 있는 경우, 첫 행의 Data는 불러올 때 누락 된다.)
 - TXT
 - : 자료의 **첫 행부터** Data로 인식한다.
(첫 행에 Data가 아닌 열 제목(Header)이 있는 경우 입력이 불가하다.)
- 자료 형식의 오류를 방지하기 위해서는 프로그램 설치 시 제공되는 샘플 데이터의 양식을 참고하는 것이 좋다. 제공되는 샘플 데이터 양식은 다음 그림과 같다.
 - 일(Daily) 자료

강수량(mm)																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>A</th><th>B</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>일시</td><td>일강수량.mm.</td></tr> <tr> <td>2</td><td>1974-01-01</td><td>0</td></tr> <tr> <td>3</td><td>1974-01-02</td><td>0</td></tr> <tr> <td>4</td><td>1974-01-03</td><td>0</td></tr> <tr> <td>5</td><td>1974-01-04</td><td>0</td></tr> <tr> <td>6</td><td>1974-01-05</td><td>0</td></tr> <tr> <td>7</td><td>1974-01-06</td><td>0</td></tr> <tr> <td>8</td><td>1974-01-07</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> <p>< .xlsx ></p>		A	B	1	일시	일강수량.mm.	2	1974-01-01	0	3	1974-01-02	0	4	1974-01-03	0	5	1974-01-04	0	6	1974-01-05	0	7	1974-01-06	0	8	1974-01-07	0	<p>일시, 일강수량 .mm.</p> <p>1974-01-01,0</p> <p>1974-01-02,0</p> <p>1974-01-03,0</p> <p>1974-01-04,0</p> <p>1974-01-05,0</p> <p>1974-01-06,0</p> <p>1974-01-07,0</p> <p>1974-01-08,0</p> <p>1974-01-09,0</p> <p>1974-01-10,0</p> <p>< .csv ></p>	<p>1974-01-01 0</p> <p>1974-01-02 0</p> <p>1974-01-03 0</p> <p>1974-01-04 0</p> <p>1974-01-05 0</p> <p>1974-01-06 0</p> <p>1974-01-07 0</p> <p>1974-01-08 0</p> <p>1974-01-09 0</p> <p>※ 열 제목(head) 없음</p> <p>< .txt></p>
	A	B																											
1	일시	일강수량.mm.																											
2	1974-01-01	0																											
3	1974-01-02	0																											
4	1974-01-03	0																											
5	1974-01-04	0																											
6	1974-01-05	0																											
7	1974-01-06	0																											
8	1974-01-07	0																											

그림 III-12 자료 단위별 예시(일자료)

- 월(Monthly) 자료

강수량(mm)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	1973	56.9	3.7	13.7	133	82.5	107.9	191.3	188.4	88.1	26.5	24.7	11.4
3	1974	15.1	23.8	27.7	144.8	239.8	64.3	256.9	319	96.3	36.2	10.6	16.2
4	1975	17.4	6.4	64.2	103	83.7	50.5	384.5	96.2	181.3	21	36.3	22.9
5	1976	4	108.3	6.8	58.4	41.5	49.2	176.7	462.3	78.7	60.7	30.7	32.2
6	1977	2.2	0.2	36.5	228.8	63.7	46.4	405.4	101	96.2	15.7	96	55.4

< .xlsx >

```
time,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12
1973,56.9,3.7,13.7,133,82.5,107.9,191.3,188.4,88.1,26.5,24.7,11.4
1974,15.1,23.8,27.7,144.8,239.8,64.3,256.9,319,96.3,36.2,10.6,16.2
1975,17.4,6.4,64.2,103,83.7,50.5,384.5,96.2,181.3,21,36.3,22.9
1976,4,108.3,6.8,58.4,41.5,49.2,176.7,462.3,78.7,60.7,30.7,32.2
1977,2.2,0.2,36.5,228.8,63.7,46.4,405.4,101,96.2,15.7,96,55.4
```

< .csv >

```
1973 56.9 3.7 13.7 133 82.5 107.9 191.3 188.4 88.1 26.5 24.7 11.4
1974 15.1 23.8 27.7 144.8 239.8 64.3 256.9 319 96.3 36.2 10.6 16.2
1975 17.4 6.4 64.2 103 83.7 50.5 384.5 96.2 181.3 21 36.3 22.9
1976 4 108.3 6.8 58.4 41.5 49.2 176.7 462.3 78.7 60.7 30.7 32.2
1977 2.2 0.2 36.5 228.8 63.7 46.4 405.4 101 96.2 15.7 96 55.4
```

※ Header 없음

< .txt >

가뭄 지수

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	1946	-2.61531	-2.4907	-1.63215	-1.59908	-0.85283	-1.0785	-0.7034	-1.26178	-1.47998	0.262542	0.020429	0.072316
3	1947	-1.21175	-0.60621	-0.68516	-0.91838	-1.63118	-0.8251	0.131462	-0.05991	1.072055	0.749547	0.558651	0.369868
4	1948	0.497527	0.658053	-0.17448	-0.21243	-0.57938	0.864276	0.158908	0.051125	-1.02097	-1.04732	0.818492	1.136748
5	1949	1.360725	0.592218	0.144498	0.158923	-0.2613	-0.60061	-1.5508	0.326991	0.366155	0.132616	-1.15852	0.029533
6	1950	0.318076	0.688973	0.712672	0.819464	0.458699	-0.34235	0.508751	1.311823	1.389284	0.568315	0.549448	0.327574

< .xlsx >

```
time,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12
1946,-2.615305,-2.4907002,-1.6321471,-1.5990761,-0.8528261,-1.0784995,-0.7034026,-1.2617795,-1.4799811,0.262542,0.0204291,0.0723163
1947,-1.211746,-0.606208,-0.685162,-0.9183814,-1.6311848,-0.8250952,0.1314616,-0.0599056,1.0720549,0.7495471,0.5586505,0.369868
1948,0.4975265,0.6580531,-0.1744805,-0.2124324,-0.5793778,0.8642763,0.1589083,0.0511252,-1.0209697,-1.0473221,0.8184915,1.1367478
1949,1.3607248,0.5922181,0.1444981,0.1589232,-0.2613025,-0.6006129,-1.5507964,0.3269905,0.3661553,0.1326155,-1.1585171,0.029533
1950,0.3180762,0.6889731,0.7126716,0.8194638,0.4586994,-0.342349,0.5087508,1.3118225,1.3892836,0.5683146,0.5494482,0.3275739
```

< .csv >

```
1946 -2.61531 -2.4907 -1.63215 -1.59908 -0.85283 -1.0785 -0.7034 -1.26178 -1.47998 0.262542 0.020429 0.072316
1947 -1.21175 -0.60621 -0.68516 -0.91838 -1.63118 -0.8251 0.131462 -0.05991 1.072055 0.749547 0.558651 0.369868
1948 0.497527 0.658053 -0.17448 -0.21243 -0.57938 0.864276 0.158908 0.051125 -1.02097 -1.04732 0.818492 1.136748
1949 1.360725 0.592218 0.144498 0.158923 -0.2613 -0.60061 -1.5508 0.326991 0.366155 0.132616 -1.15852 0.029533
1950 0.318076 0.688973 0.712672 0.819464 0.458699 -0.34235 0.508751 1.311823 1.389284 0.568315 0.549448 0.327574
```

※ Header 없음

< .txt >

그림 III-13 자료 단위별 예시(월자료)

6) 입력자료 그래프 및 표 보기

- 입력 자료 변환을 완료하면 입력 자료의 시계열 그래프와 표를 확인할 수 있다.

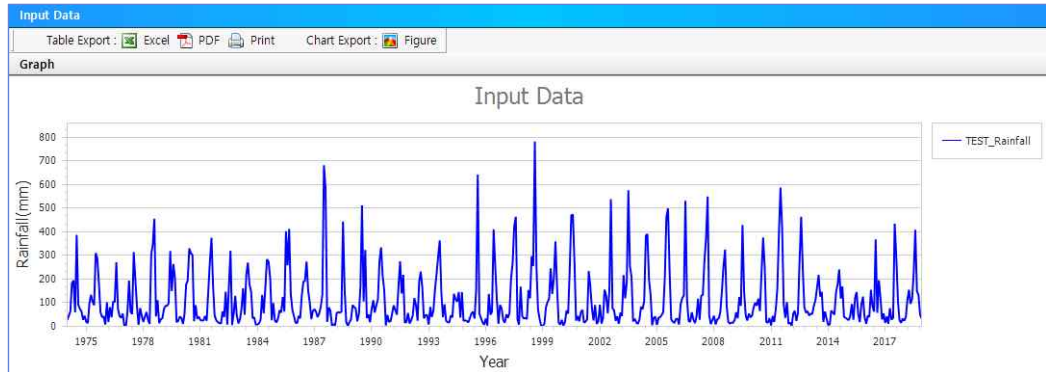


그림 III-14 변환된 입력 자료 시계열 그래프 예시

- 변환된 입력 자료는 아래의 그림과 같이 테이블 형태로 확인할 수 있다.

Table	
날짜	데이터
1973-01	56.9
1973-02	3.7
1973-03	13.7
1973-04	133.0
1973-05	82.5
1973-06	107.9
1973-07	191.3
1973-08	188.4
1973-09	88.1
1973-10	26.5
1973-11	24.7
1973-12	11.4
1974-01	15.1
1974-02	23.8

그림 III-15 변환된 입력 자료 Table 예시

- 변환된 입력 자료는 좌측 상단의 아이콘을 클릭하여 표 형식의 엑셀, PDF로 저장 또는 인쇄할 수 있으며, 입력 자료 그래프를 PNG 파일로 저장할 수 있다.

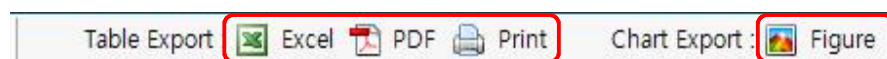


그림 III-16 변환된 입력자료 출력

다. 분석 실행을 위한 입력 자료 유형

- 원자료의 종류에 따라 프로그램 내 분석을 위해 변환되는 입력 자료를 Case 별로 나누어 정리해 보면 아래 그림과 같다.
- 자료 구분과 자료 단위를 고려하여 총 3가지의 Case로 볼 수 있으며, 각 Case 별 구분은 아래 표와 같다.

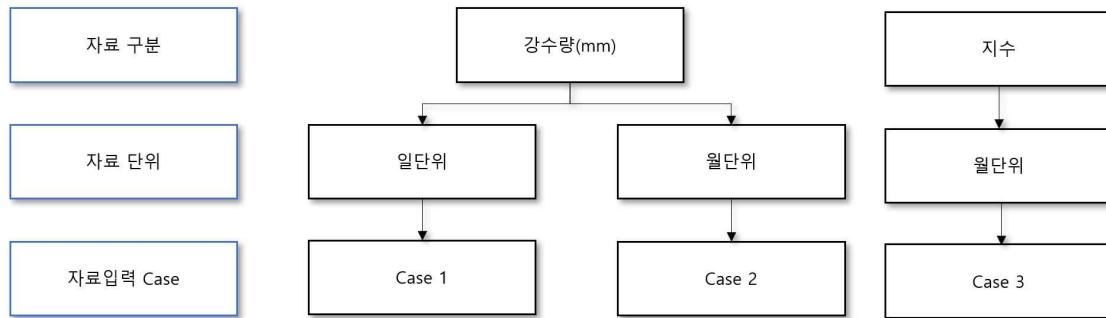


그림 III-17 자료 입력 Case flow chart

표 III-3 자료 입력 Case 구분

구분	자료 구분	자료 단위	Case 예시
Case 1	강수량(mm)	일 단위	일 단위의 강수량(mm) 자료를 입력하여 이변량 가뭄빈도 산정
Case 2	강수량(mm)	월 단위	월 단위의 강수량(mm) 자료를 입력하여 이변량 가뭄빈도 산정
Case 3	지수	월 단위	월 단위의 가뭄지수 자료를 입력하여 이변량 가뭄빈도 산정

3. 전처리

△ 전처리를 위해서는 총 2가지의 과정을 진행하여야 한다. Anomaly 연산, 지속기간 및 심도 산정이다.

가. Anomaly 산정

- 1) '누적기간' 탭에서 개월 수를 설정한다.
 - 누적 기간(cumulative period) : 가뭄 사상 분석을 위한 데이터(입력 자료의 이동 합)를 구할 기간(월)을 정의한다.
- 2) 'Anomaly 연산' 버튼을 클릭하여 분석된 결과를 확인한다.

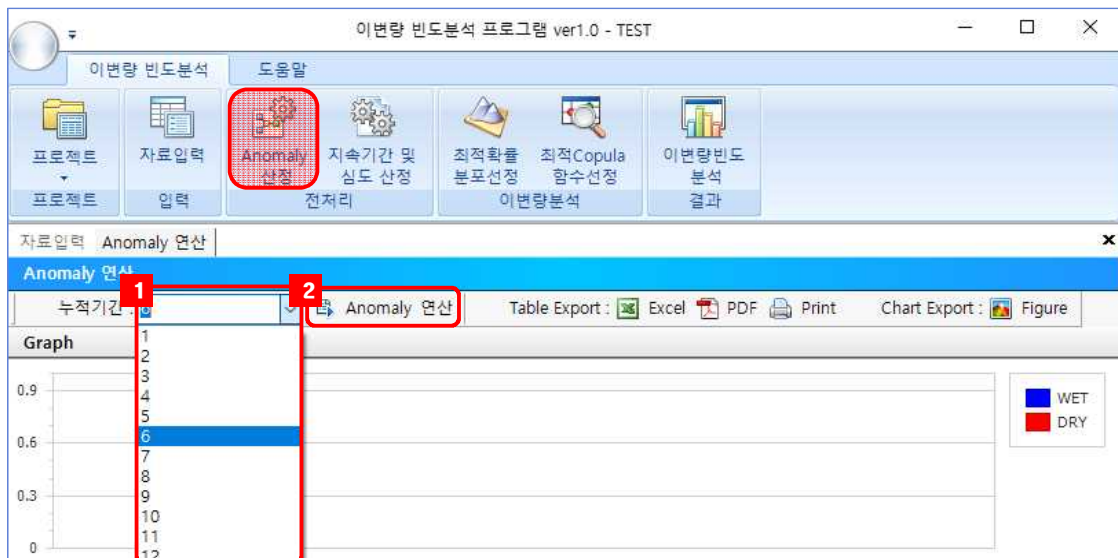


그림 III-18 Anomaly 산정 방법

【 Anomaly 산정 】

연속이론(run theory)을 기반으로 가뭄 사상을 추출하는 방법으로 원자료인 강수량 월 자료로부터 누적 기간(cumulative period)을 단위로 1개월씩 이동하며 강수량 합계를 구하고, 동일 구간의 전 기간 강수량 평균과 비교하여 과부족을 산정한다. 이때 연속된 강수 부족 기간을 가뭄 지속기간으로, 부족량 합계를 가뭄 심도로 정의한다.

3) Anomaly 연산 결과 화면 구성은 아래 그림과 같다.

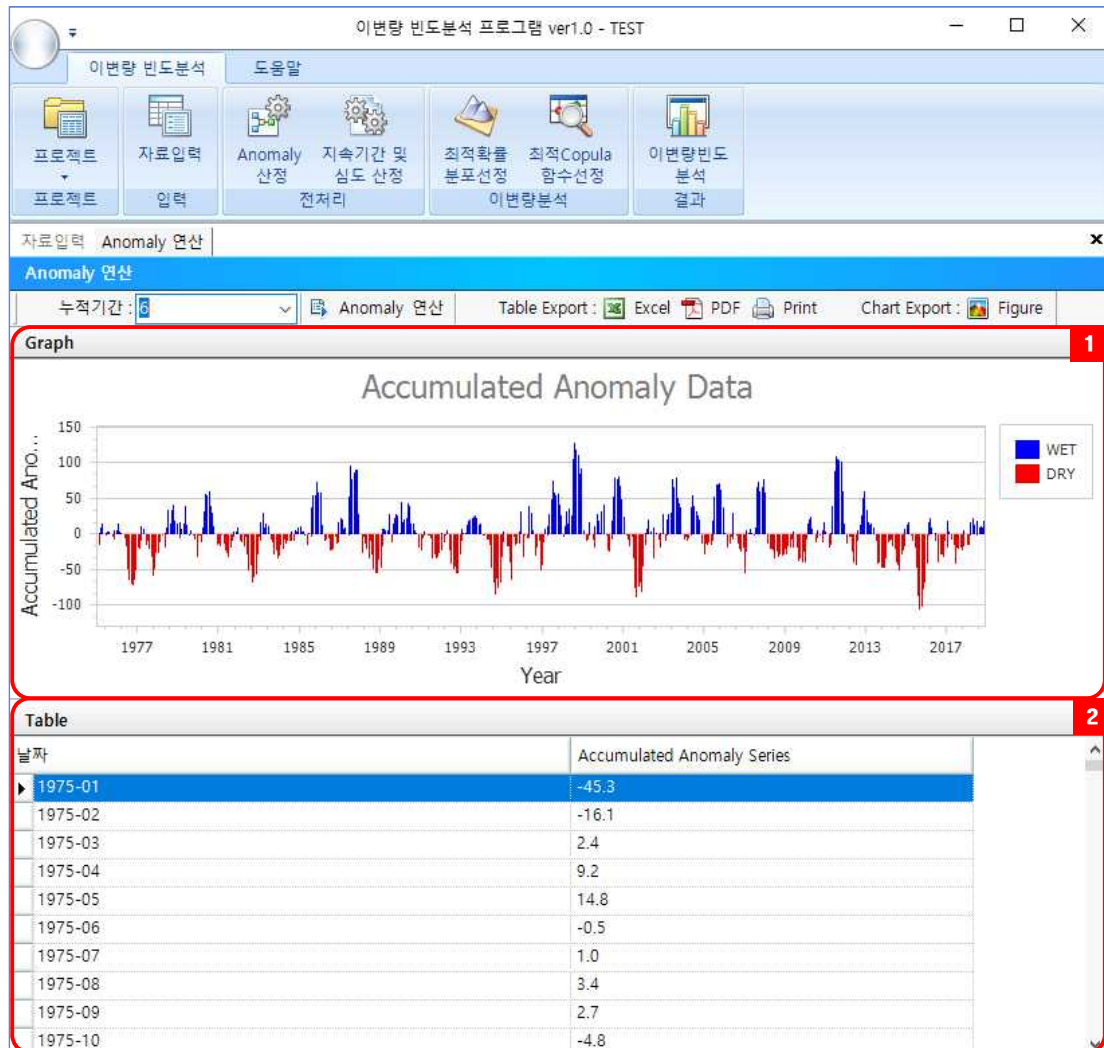


그림 III-19 Anomaly 연산 결과 화면

- 1 : 변환된 자료를 그래프 형식으로 보여준다. 그래프 위쪽의 Figure 버튼을 클릭하여 그래프를 PNG 파일로 저장할 수 있다.
- 2 : 변환된 자료를 표출하는 테이블이다. 그래프 위쪽의 Excel, PDF, Print 버튼을 클릭하여 원하는 파일 형식으로 저장하거나 인쇄할 수 있다.

나. 지속기간 및 심도 산정

△ Threshold를 반영한 가뭄 지속기간 및 심도 산정을 할 수 있다.

1) Threshold 값을 입력한다.

- Threshold : 가뭄 사상을 구분하는 기준이 되는 값을 사용자가 정의할 수 있는 기능
- 기본값은 0이며, 사용자가 임의의 Threshold 값을 설정하여 가뭄 사상 추출이 가능


- 2)  **지속기간 및 심도 연산** 버튼을 클릭하여 지속기간 및 심도를 연산한다.



그림 III-20 지속기간 및 심도 산정 화면

- 3) 지속기간 및 심도 산정 결과 화면 구성은 아래와 같다.

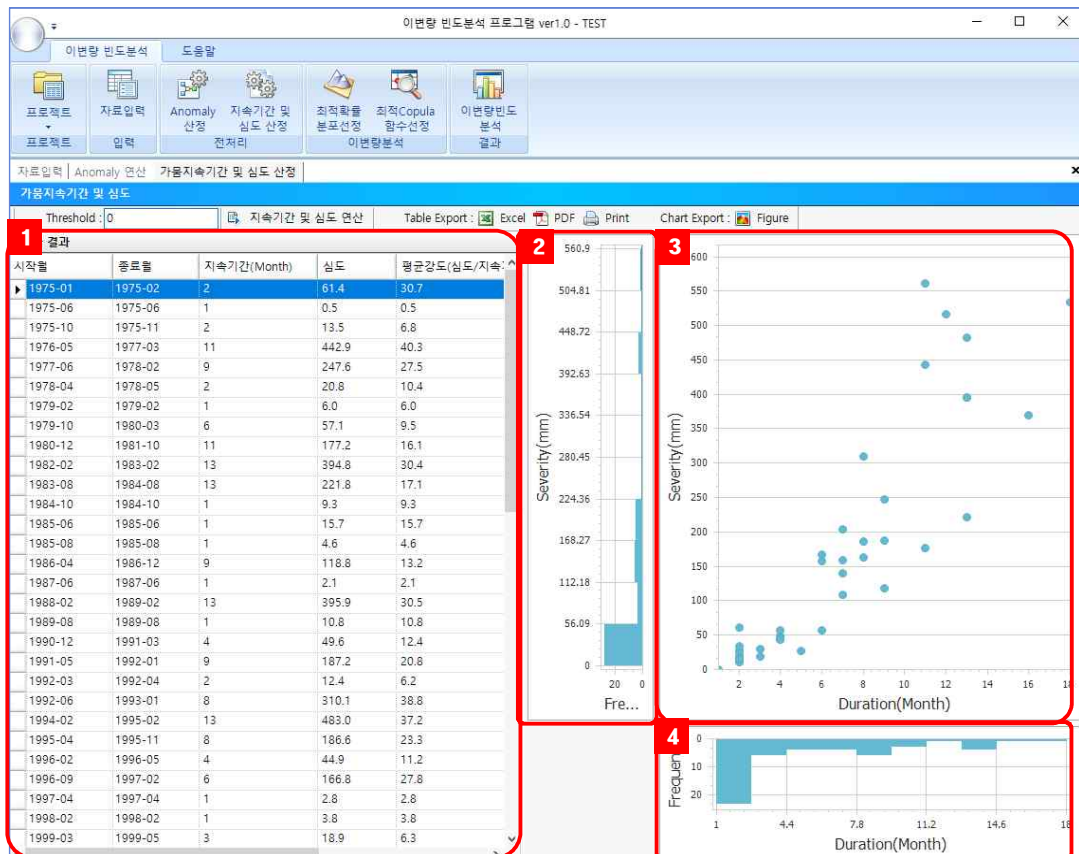


그림 III-21 지속기간 및 심도 산정 결과 화면

- **1** : 가뭄 사상별 지속기간 및 심도 연산 결과 테이블
- **2** : 가뭄 심도 자료의 히스토그램
- **3** : 심도-지속기간 분포 그래프
- **4** : 지속기간 자료의 히스토그램

【 Run Theory 】

가뭄은 장주기적이고 광역적으로 발생함에 따라 시작과 끝, 규모, 범위 등을 정량화하기 어려워 수문·기상학적 변수의 시계열 자료로부터 가뭄의 기간, 크기 및 빈도를 정량화하고 있다. Yevjevich(1967)는 연속이론(run theory)을 이용하여 가뭄을 정의하고 가뭄 특성 인자를 산정하는 방법을 제안하였다. 연속이론이란 수문·기상학적 변수의 시계열에 대한 통계적 속성이며, 가뭄의 현상을 표현하는 요소로서 비교적 명확하게 정립되어 있다. 아래 그림과 같이 가뭄은 수문·기상학적 변수가 절단 수준(x_0) 이하로 떨어지는 기간으로 정의할 수 있다. 절단 수준 이하로 내려간 시간을 가뭄의 지속기간(D_i), 지속기간 동안 절단 수준 이하로 내려간 양을 가뭄의 심도(s_i)로 정의하며, 가뭄 사상 간 발생 시점 사이의 시간을 가뭄 발생 간격(L_i)이라 한다.

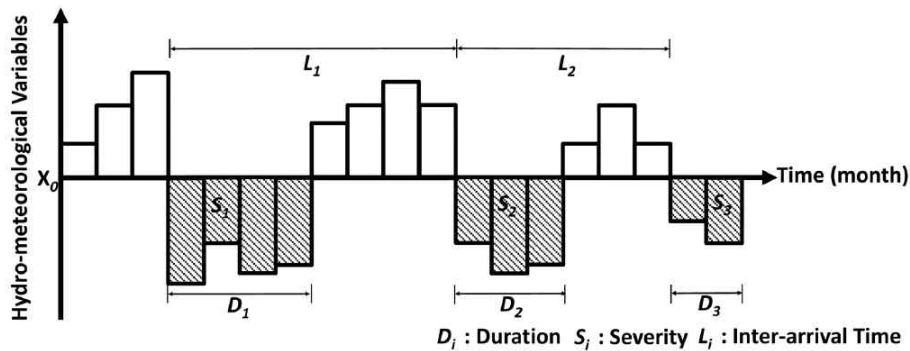


Fig. 3. Drought Characteristic Factors (Yevjevich, 1967).

4. 이변량 가뭄빈도 해석

- △ 추정된 확률분포의 다양한 검정을 통해 적합한 확률분포형을 선정한다.
- △ 최적 주변확률분포를 선정한 후 최적 Copula 함수 선정을 통해 이변량 분석을 수행한다.

가. 최적 주변확률분포 선정

- △ 지속기간과 심도 각각에 대해 최적 주변확률분포를 선정할 수 있으며 방법은 아래와 같다.

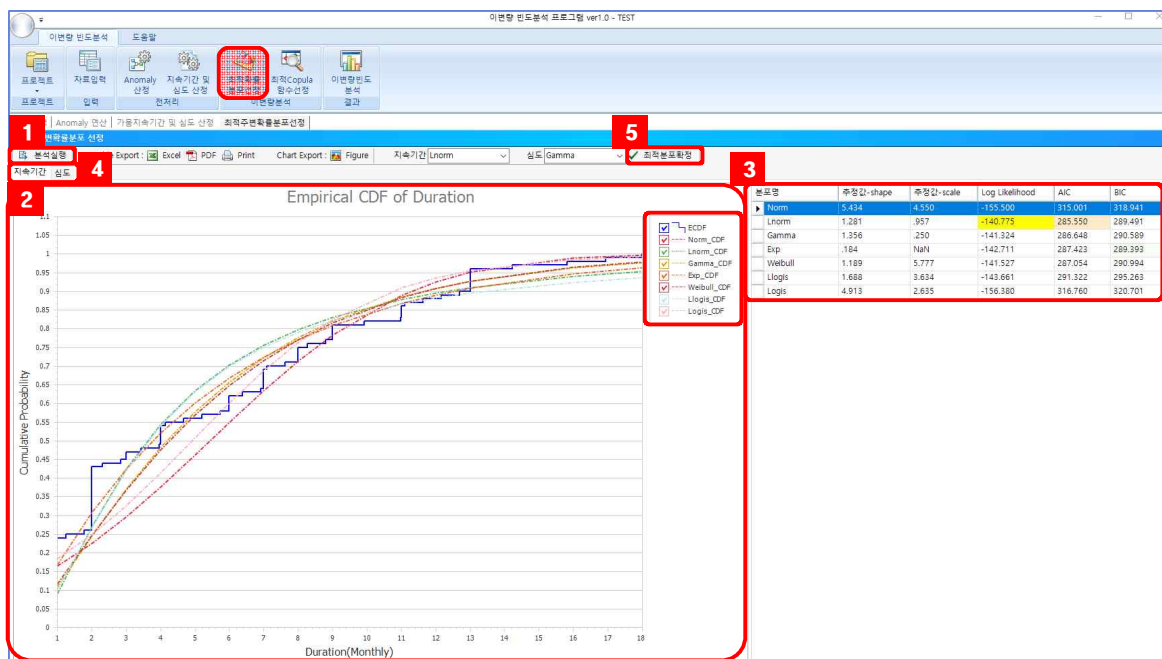


그림 III-22 최적 주변확률분포 선정 화면

- 1) '분석실행' 버튼을 클릭한다.
- 2) 분석된 결과가 그래프로 보이며, 체크 박스를 클릭하여 분포형별 그래프 확인이 가능하다.
- 3) 분포형 별로 검증 결과 값이 테이블에 보이며 최적 주변확률분포는 색깔로 표시된다.
- 4) 지속기간과 심도의 확률분포를 각각 그래프와 테이블로 확인할 수 있다.
- 5) '최적분포확정' 버튼을 클릭하여 지속기간과 심도의 최적 주변확률분포 선정을 완료한다.

- 최적 주변확률분포 선정 결과는 Excel PDF Print, Figure 버튼을 클릭하여 원하는 형태로 저장하거나 인쇄할 수 있다.

【 최적 주변확률분포 선정 】

본 프로그램에서는 가뭄 심도 및 지속기간에 대해 7개의 확률분포 함수(Gaussian, Exponential, Gamma, Gumbel, GEV, Weibull, Generalized Pareto)중 최적의 주변확률분포를 선정한다.

일반적으로 우도만을 가지고 최적분포형을 선택하는 경우, 모분포의 자유도가 후보 모델의 자유도보다 낮은 경우 잘못된 확률분포를 선택할 확률이 높은 단점이 있다(Akaike, 1974).

따라서 본 프로그램에서는 가뭄 특성 인자에 적합한 확률분포형을 선택하기 위한 방법으로 우도(likelihood) 외에도 매개변수 개수, 자료 수 등을 적절하게 고려할 수 있는 Log-likelihood, AIC(Akaike information criterion), BIC(Bayesian information criterion) 결과를 통해 최적 주변확률분포를 선정하도록 하였다.

나. 최적 Copula 함수선정

△ 최적 Copula 함수를 선정할 수 있으며 방법은 아래와 같다.

1. 분석실행

2. Copula Result

Copula명	Copula Parameter	Kendall's Tau	Empirical Blomqvist's Beta	Log Likelihood	AIC(Akaike Information Criterion)	BIC(Bayes Information Criterion)
Clayton	2.890	0.591	0.612	36.809	-71.617	-69.540
Frank	13.709	0.743	0.798	52.084	-102.169	-100.091
Gaussian	0.923	0.749	0.749	56.007	-110.014	-107.937
Gumbel	3.757	0.734	0.738	55.872	-109.744	-107.666

그림 III-23 최적 Copula함수 선정 화면

- 1) '분석실행' 버튼을 클릭한다.
- 2) Copula 함수별로 검증 결과가 테이블에 표시되고 최적 Copula 함수는 색깔로 구분된다.
 - 최적 Copula 함수선정 결과는 Excel, PDF, Print, Figure 버튼을 클릭하여 원하는 형태의 파일로 저장하거나 인쇄할 수 있다.

【 이변량 빈도해석 】

가뭄과 같이 복합인자가 동시에 발생하는 변량의 경우 상호 의존성이 뚜렷하기 때문에 가뭄빈도 해석 시 Copula 함수의 적용을 통해 다양한 장점을 활용할 수 있다. 수문학 분야에서 사용되는 변량의 경우 분포 형태가 비대칭적이면서, 꼬리(tail)가 두꺼운 극치값(극대 또는 극소)을 보이는 경향이 강하다. 따라서 이러한 자료의 꼬리 부분에 대한 분포를 다룸에 있어 Copula 함수 활용이 타당하다고 알려져 있다(Kim et al., 2016).

특히, 가뭄의 경우 일반적으로 복합적인 인자가 동시에 고려되기 때문에 가뭄에 대한 빈도 해석 시 단변량 가뭄빈도 해석보다 다변량의 인자를 고려한 가뭄빈도 해석의 적용이 정량적인 가뭄위험도 평가 측면에서 유리하다고 알려져 있다(Shiau and Shen, 2001).

Copula 함수는 2개 이상의 주변 확률분포를 이용하여 결합 확률분포를 구축하는 역할을 하며, 기본적으로 누가분포함수가 입력 자료로 활용된다. 본 프로그램에서는 Gaussian, Clayton, Frank, Gumbel Copula를 적용하여 Log-likelihood, AIC(Akaike information criterion), BIC(Bayesian information criterion) 분석을 통해 최적 함수를 선정하도록 하였다.

Table 1. Joint Probability Distribution Functions for Copula (Nelsen, 2006)

Copula	Joint probability distribution function
Gaussian	$c^G(u_1, \dots, u_n; \Sigma) = \frac{\partial}{\partial u} C^G(u_1, \dots, u_n; \Sigma) = \frac{1}{ \Sigma ^{\frac{1}{2}}} \exp\left(-\frac{1}{2} y^T \left(\sum_{i=1}^n -I\right) y\right)$
Clayton	$[\max(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1, 0)]^{-1/\theta}$
Frank	$-\frac{1}{\theta} \ln \left(1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)}{e^{-\theta} - 1} \right)$
Gumbel	$\exp(-[(-\ln u)^\theta + (-\ln v)^\theta]^{1/\theta})$

5. 결과

가. 이변량 가뭄빈도 해석 결과

△ 입력한 자료에 대한 이변량 빈도해석 결과는 아래와 같이 표출되며 ‘결과_차트’와 ‘결과_테이블’ 탭을 통해 차트, 테이블 형태로 보여진다.

- 1) 상단의 ‘분석실행’ 버튼을 클릭한다.
- 2) 이변량 빈도해석 결과를 가뭄 지속기간(D)과 가뭄 심도(S)의 재현기간(T)에 대해 $D \geq d$ and $S \geq s$ 와 $D \geq d$ or $S \geq s$ 의 두가지 조건으로 표출한다.

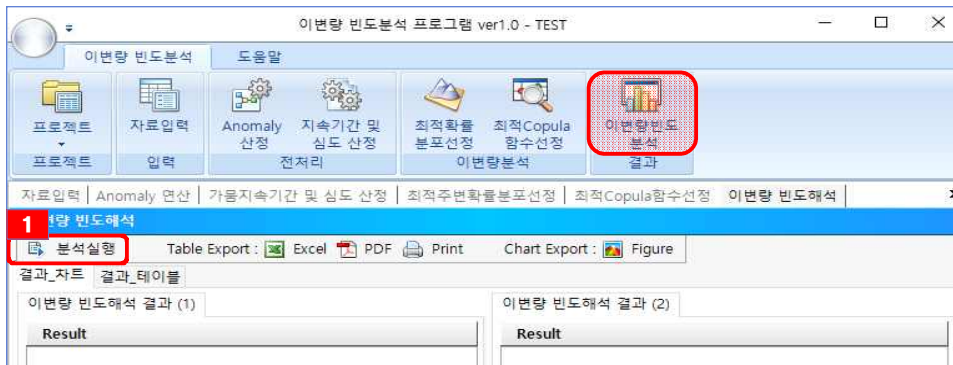


그림 III-24 이변량 가뭄빈도 분석 실행

【 이변량 가뭄 재현기간의 산정 】

가뭄 지속기간(D)과 가뭄 심도(S)에 대한 재현기간 $T(D)$ 및 $T(S)$ 는 아래 식 (1) 및 식 (2)와 같다. 여기서 $E(L)$ 은 가뭄 사상의 평균 발생 간격이다. 지속기간과 심도를 동시에 고려한 가뭄 재현기간은 위험도 측면에서 두 가지 시나리오로 해석되며, 식 (3)의 $T_U(d,s)$ 는 $D \geq d$ or $S \geq s$ 조건에 의한 재현기간을, 식 (4)의 $T_\cap(d,s)$ 는 $D \geq d$ and $S \geq s$ 조건에 의한 재현기간을 산정하는 식이다(Lee et al., 2021).

$$T(D) = \frac{E(L)}{P(D > d)} = \frac{E(L)}{1 - F_D(d)} \quad (1) \quad T(S) = \frac{E(L)}{P(S > s)} = \frac{E(L)}{1 - F_S(s)} \quad (2)$$

$$T_U(d,s) = \frac{E(L)}{P(D > d \cup S > s)} = \frac{E(L)}{1 - F_{D,S}(d,s)} = \frac{E(L)}{1 - C(F_D(d), F_S(s))} \quad (3)$$

$$T_\cap(d,s) = \frac{E(L)}{P(D > d \cap S > s)} = \frac{E(L)}{1 - F_D(d) - F_S(s) + C(F_D(d), F_S(s))} \quad (4)$$

3) 이변량 빈도해석의 결과는 그래프와 테이블로 확인이 가능하며,

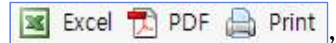


Figure 버튼을 클릭하여 원하는 형태의 파일로 저장하거나 인쇄할 수 있다.

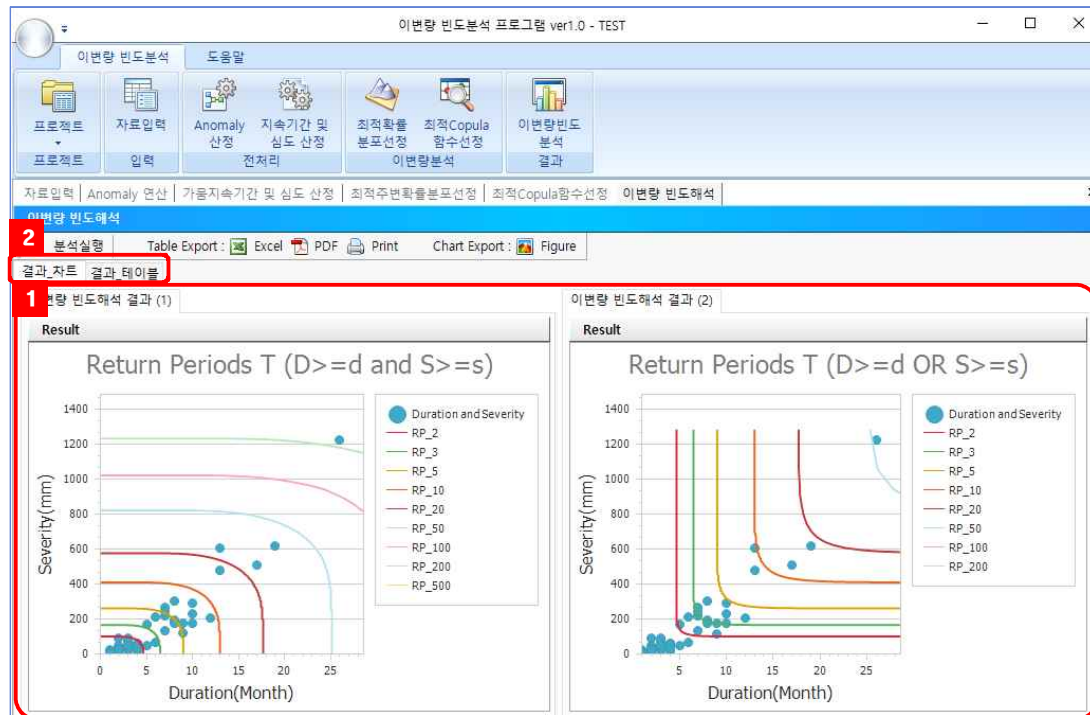


그림 III-25 이변량 가뭄빈도 분석 결과(그래프)

이변량 빈도분석 프로그램 ver1.0 - TEST

이변량 빈도분석 도움말

자료입력 Anomaly 연속 가뭄지속기간 및 심도 산정 최적화결과 분포선정 최적Copula 함수선정 이변량빈도 분석 결과

이변량 빈도해석

분석실행 Table Export: Excel PDF Print Chart Export: Figure

결과 차트 결과 테이블

3 Result

시작월	종료월	지속기간(Month)	심도	평균강도(심도/지속기간)	최대심도	재현기간(AND)	재현기간(OR)
1974-01	1974-03	3	73.67	24.56	40.89	1.74	1.27
1974-07	1975-04	10	175.22	17.52	50.56	6.33	3.08
1975-06	1976-01	8	302.92	37.87	53.32	6.92	3.80
1976-03	1976-12	10	287.92	28.79	55.57	7.85	4.66
1977-02	1977-03	2	24.71	12.36	17.10	1.15	0.98
1977-06	1977-06	1	3.80	3.80	3.80	0.85	0.81
1977-08	1978-02	7	265.52	37.93	68.12	5.63	3.14
1978-05	1978-05	1	19.86	19.86	19.86	1.04	0.82
1978-07	1979-03	9	174.83	19.43	51.03	5.42	3.00
1979-09	1980-03	7	220.05	31.44	69.78	4.75	2.97
1980-07	1981-06	12	204.43	17.04	43.90	8.85	3.66
1981-08	1983-02	19	617.90	32.52	91.85	36.06	17.54
1983-06	1984-01	8	185.00	23.13	43.13	4.79	2.99
1984-03	1984-10	8	191.22	23.90	49.27	4.86	3.05
1985-03	1985-03	1	2.02	2.02	2.02	0.83	0.79
1985-07	1985-09	3	44.13	14.71	28.94	1.47	1.19

그림 III-26 이변량 가뭄빈도 분석 결과(테이블)

- **1** : 이변량 빈도해석 결과로 좌측은 $D \geq d$ and $S \geq s$ 조건, 우측은 $D \geq d$ or $S \geq s$ 조건에 대한 결과를 차트로 표현한 화면이다.
- **2** : ‘결과_차트’ 를 클릭시 이변량 빈도해석 차트확인이 가능하며, ‘결과_테이블’ 클릭시 결과를 테이블 형태로 확인이 가능하다.
- **3** : 이변량 빈도해석 결과를 차트 테이블 형태로 표현한 결과이다.

4) 사용자가 확인하고자 하는 월단위의 가뭄 지속기간(Duration)과 가뭄 심도(Severity)를 입력하면 $D \geq d$ and $S \geq s$ 조건과 $D \geq d$ or $S \geq s$ 조건으로 재현기간(T)을 확인할 수 있다.

Manual Calculation	
Duration	1 월단위 가뭄 지속기간 입력 3 분석실행
Severity	2 가뭄 심도 입력
Return Period AND	
Return Period OR	

그림 III-27 가뭄 지속기간과 심도 입력을 통한 재현기간 분석

Manual Calculation	
Duration	15
Severity	600
Return Period AND	130.88
Return Period OR	57.49

그림 III-28 재현기간 분석 결과 화면

참 고 문 헌

- Akaike, H. (1974). "A new look at the statistical model identification." IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 19, No. 6, pp. 716-723.
- Kim, J.-Y., So, B.-J., Kim, T.-W., and Kwon, H.-H. (2016). "A development of trivariate drought frequency analysis approach using copula function." Journal of Korea Water Resource Associate, Vol. 49, No. 10, pp. 823-833.
- Kim, J.Y., Kim, J.G., Cho, Y.H., and Kwon, H.H. (2017). "A development of Bayesian copula model for a bivariate drought frequency analysis." Journal of Korea Water Resource Association, KWRA, Vol. 50, No. 11, pp. 745-758.
- Kwon, H.H., and Lall, U. (2016). "A copula-based nonstationary frequency analysis for the 2012-2015 drought in California." Water Resources Research, Vol. 52, No. 7, pp. 5662-5675.
- Lee, J.J., Ryu, S.W., Kang, S.U., and Kwon, H.H. (2021). "Development of a Bivariate Drought Frequency Analysis Program using Copula Function." proceeding of KSCE 2021 convention conference.
- Nelssen, R. B. (2006). "An Introduction to Copula." Springer, New York, pp. 109-115
- Shiau, J.-T., and Shen, H. W. (2001). "Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity." Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 127, No. 1, pp. 30-40.
- Vaziri, H., Karami, H., Mousavi, S.F., and Hadiani, M. (2018). "Analysis of hydrological drought characteristics using copula function approach." Paddy and Water Environment, Vol. 16, No. 1, pp. 153-161.
- Yevjevich, V.M. (1967). "An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts." Hydrology Paper 23, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.

- 본 설명서는 한국수자원공사 국가가뭄정보분석센터(NDIC)가 개발 배포한 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램(NDIC-BFA)의 설명서입니다.
- 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램(NDIC-BFA) 및 사용자 설명서는 국가가뭄정보포털*에서 다운로드가 가능합니다.
 - * 국가가뭄정보포털 주소 : www.drought.go.kr
- 이변량 가뭄빈도 해석 프로그램(NDIC-BFA) 및 사용자 설명서와 관련한 개선 의견 및 문의 사항은 국가가뭄정보포털(www.drought.go.kr)의 ‘참여마당’에 등록해 주시거나, 아래 번호로 연락하시면 답변드리겠습니다.
 - * 연락처(Tel) : 이정주 수석위원, 042-629-3186
- 본 설명서는 문화체육관광부와 한국출판인회의가 제공하는 KoPub 글꼴이 적용되었습니다.