

## Contents

### 1. AFDEX\_V21

- 1.1 AFDEX\_V21 출시 일정
- 1.2 AFDEX\_V21 주요 기능

### 2. AFDEX\_V21의 신기능 및 개선 기능

- 2.1 2D, 3D 금형 틱새 유동 통제 기능 개선
- 2.2 바인더 금형을 사용한 해석 기능 개선
- 2.3 3D 소재 모멘트 저장 기능 추가
- 2.4 3D 접착용이금형(Sticky die) 기능 추가
- 2.5 2D, 3D 단별 요소망재구성 기능 추가
- 2.6 3D 롤포밍 해석 기능 추가
- 2.7 3D 전단해석 기능 개선
- 2.8 하나의 프로젝트에서 3가지 데미지 모델 입력, 출력 기능 추가
- 2.9 연성재료의 취성파괴 계량화
- 2.10 성형불안정성 지수 도입
- 2.11 사프트 클리칭 해석 시 하중제어 기능
- 2.12 유연 맨드렐 활용 파이프 벤딩 해석
- 2.13 상온에서 유동응력 모델의 다양화
- 2.14 고온에서 유동응력
- 2.15 전반부 클래딩 압출공정 해석

### 3. 공지사항

- 3.1 2021년 하반기 정기교육 일정
- 3.2 KSTP 학술대회 발표

## 1. AFDEX\_V21

### 1.1 AFDEX\_V21 출시 일정

지난 2020년 12월에 AFDEX\_V20의 최종 수정 버전이 배포되었고, AFDEX Newsletter Q1/2021에서 주요 개선 사항 및 신기능을 확인할 수 있다.

AFDEX\_V21은 이번 분기말에 배포될 예정이다.

### 1.2 AFDEX\_V21 주요 기능

이번 분기말에 배포 예정인 AFDEX\_V21의 신기능 및 주요 개선 사항은 다음과 같다.

#### 1.2.1 시험 사용의 목적으로 AFDEX\_V20에서 제공된 기능

AFDEX\_V20의 베타버전으로 이미 그 기능이 소개된 것 중에서 이번 AFDEX\_V21에서 정식 기능화될 것은 다음과 같다.

- 금형수명 예측 (Advanced ver.)
- 다물체 단별 해석 (Advanced ver.)
- 자동다단냉간단조 봉재 전단해석
- 성형불안정성 지수 (Advanced ver.)
- PLF 기반 미세구조 정밀해석 (Advanced ver.)
- 복합재료 박리해석 (Advanced ver.)
- 요소망재구성 계산 시간 단축
- 상세설계 정보 활용 해석 기술

베타 버전으로 이미 배포된 기능에 관한 상세 내용은 AFDEX Newsletter Q1/2021을 참고하기 바란다.

#### 1.2.2 최초 공지되는 신기능 및 개선 기능

AFDEX\_V21에서 처음 공개되거나 기존 기능으로써 신버전을 통하여 크게 개선된 것은 다음과 같다.

- 롤포밍 공정 해석 (Beta ver.)
- 유연 맨드렐 활용 파이프 벤딩 공정 해석 (Beta ver.)
- 2D, 3D 금형 틱새 소재 유동 통제 기능 개선
- 바인더 금형 사용 해석 기능 개선
- 접착용이금형(Sticky die) 기능 추가
- 단별 요소망재구성 설정 기능 추가

- 전단해석 기술 응용 피어싱/트리밍 해석
- 3개의 손상도 모델 동시 계산 기능
- 다수의 신 재료 모델 추가
- 연성재료의 취성파괴 예측 기능 (Beta ver.)
- 회전단조의 하중 부과 금형 (Beta ver.)
- 다물체 간의 열박음 기능
- 프로세싱 맵 출력 기능 (Beta ver.)
- 재료상수 획득 기능

전술한 신기능 또는 개선 기능과 관련된 일부 주요 내용을 2절에서 상술하였다.

## 2. AFDEX\_V21의 신기능 및 개선 기능

### 2.1 2D, 3D 금형 틱새 유동 통제 기능 개선

금형구조해석 및 열전달 등을 고려한 완전한 형태의 해석을 하는 경우가 증가함에 따라 금형과 금형 사이에 소재 유동을 사용자가 직접 관리할 경우가 많아졌다. 기본적인 금형 틱새로의 재료 유동 통제 기능을 AFDEX\_V19부터 제공하였으며, 그 동안 지속적인 기능 개선을 진행해왔다. AFDEX\_V21에서는 재료 유동 통제 목적으로 금형의 틱새 거리를 각 단별로 사용자가 입력함으로써 보다 정교하게 통제할 수 있도록 한다. 그림 2.1(a)의 기본 방식은 사용자에게 의해 모델링된 상태를 바탕으로 프로그램에서 자체적으로 결정하여 계산하지만, 침투가 발생될 우려가 있었다. 기존버전의 2D에서는 소재 유동 틱새의 한계를 조절할 방법이 없었다. 그러나 개선 방식을 활용한 그림 2.1(b)의 결과는 사용자가 소재 유동 틱새의 한계를 0.5mm로 강제로 설정한 결과이다. 소성가공 공정의 해석에서 개념설계 시, 플래쉬의 발생으로 인한 잦은 요소망재구성과 성형하중의 진동 등을 방지하기 위하여 이 기능이 사용될 수 있다.

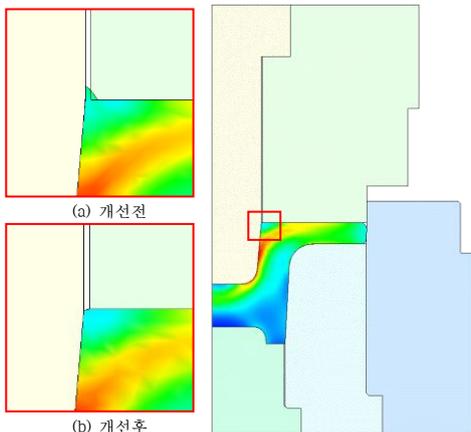


그림 2.1 금형 틱새 소재 유동 통제 기능

### 2.2 바인더 금형을 사용한 해석 기능 개선

AFDEX에서 하중부과 금형(블랭크 홀더 등)은 바인더 금형 기능을 사용한다. AFDEX가 기반으로 하고 있는 음해법은 해의 신뢰성 등의 측면에서 강점을 지니고 있지만, 금형을 통한 하중의 부과 문제를 수치적으로 취급하기에 어려운 점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 AFDEX 고유의 개선된 벌칙기법을 사용하고 있다. 이 기법에서는 부과된 하중을 고려하여 금형이 소재에 인위적으로 침투하는 것을 허용하고 있다. 이에 따라 하중이 국부적으로 크게 작용할 경우, 항복 조건을 만족하는 해가 없을 수 있다. 이러한 문제와 바인더의 운동 통제가 복잡하고 까다로운 면이 있다. AFDEX\_V21에서는 그 동안 지적되거나 계획된 기능의 개선이 이루어진다.

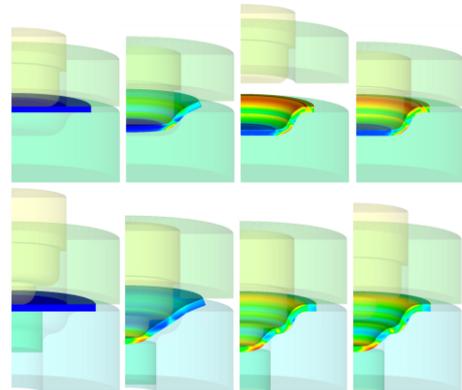


그림 2.2 적용 사례

### 2.3 3D 소재 모멘트 저장 기능 추가

금형을 물체로 간주하는 다물체 해석 기술의 활용이 증가하고 있다. 이러한 변화를 고려하여 기존 버전에서 금형에 작용하는 모멘트의 결과만 제공하였지만 신버전부터 소재별 모멘트의 결과도 제공한다.

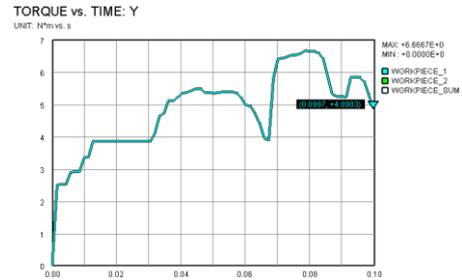
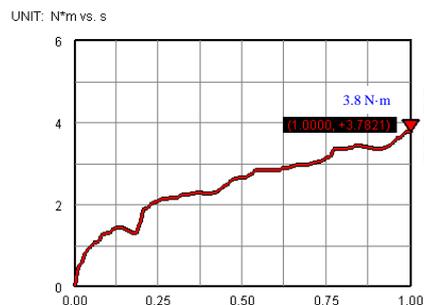


그림 2.3 소재 모멘트 그래프

### 2.4 3D 접착용이금형(Sticky die) 기능 추가

3D의 경우, 계산속도가 과거에 비하여 괄목할 정도로 개선되었고 앞으로도 지속적으로 개선이 이루어지겠지만, 요소 수의 증가가 궁극적 해답이 될 수는 없다. 해석의 특성상 절점 또는 요소 수의 한계에 노출될 수밖에 없다. 요소의 가장자리 길이를 절반으로 할 경우, 요소의 수는 8개 증가하기 때문에 요소 미세화로 충분히 정교한 요소망을 확보하기가 쉽지 않다. 이 문제는 다물체 해석의 경우에 더 심각해진다. 그것은 정교하지 않은 요소의 표면과 금형이나 소재 자신 또는 다른 물체의 표면과의 접촉상태가 연속적이지 않을 수 있기 때문이다. 이것은 접촉면에 의존한 수치 계산(마찰력 등)에서 부정확성을 유발한다. 이러한 문제의 해소를 위하여 AFDEX\_V21에서는 사용자가 접촉면의 범위를 조절할 수 있는 접착성 금형(Sticky die) 여부를 설정할 수 있도록 한다. 이 기능은 사용자가 필요한 금형별로 적용해야 하다. 이 기능이 활성화될 경우, 소재 표면의 세 점이 모두 금형에 붙어있지 않아도 마찰력이 고려된다.



(a) Sticky die 미적용

UNIT: N\*m vs. s



(b) Sticky die 적용

그림 2.4 접착용이금형의 적용 효과

## 2.5 2D, 3D 단별 요소망재구성 기능 추가

AFDEX\_V20까지 프로젝트 별로 요소망재구성이 가능하였다. AFDEX\_V21부터는 단별로 요소망재구성을 실시할 수 있도록 기능이 개선된다. 이 기능을 활용하면 연속공정의 해석 시 중간에 해석 중단없이 시뮬레이션이 가능하다.

## 2.6 3D 롤포밍 해석 기능 추가

기존의 AFDEX\_V20으로 강소성을 이용할 경우, 롤포밍 공정의 해석이 가능하였다. 그러나 롤포밍 공정에서 중시되는 것은 스프링백이다.

AFDEX\_V21에서는 롤포밍 해석용 베타 버전이 제공될 예정이다.

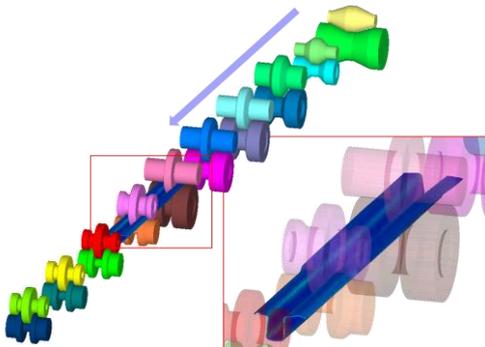


그림 2.5 롤포밍 공정 해석

## 2.7 3D 전단해석 기능 개선

전단해석은 봉재의 전단 목적으로 개발되었다. 이 기능을 피어싱/트리밍 공정에 활용할 경우, 일부의 공정에서 문제가 있었다. 이것을 일반 판단조 등의 공정에서 피어싱 또는 트리밍 목적으로 사용할 경우에 문제가 있었다. AFDEX\_V21에서는 개선된 기능을 제공한다.

한편, AFDEX가 가진 고유인 피어싱 및 트리밍 기능을 활용하면, 이 문제를 근본적으로 피할 수가 있다.

## 2.8 하나의 프로젝트에서 3가지 데미지 모델 입력, 출력 기능 추가

손상도가 중요한 공정에서 한 번의 해석으로 다수의 손상도 모델에 의한 손상도를 계산할 수 있도록 하였다. 현재 3개까지 가능하도록 프로그램해 두었으며, 후처리를 통하여 그 결과를 모두 확인이 가능하다. 이 기능을 활용하면, 손상도 모델에 따른 해석 결과의 차이를 확인하기 위하여 여러 번 수행해야 하는 번거로움이 해소된다.

## 2.9 연성재료의 취성파괴 계량화

전통적인 연성파괴 이론은 손상도의 축적에 따른 것으로 이 이론을 적용할 수 없는 문제가 존재한다. 가령, 전단해석이 여기에 속한다. 연성 재료이지만, 파단면에 연성파괴의 흔적, 즉 손상도의 축적 흔적을 관찰할 수가 없다. 이와는 다른 문제가 냉간 셸 노징에서 발견되었고, 기존의 연구에서 그 원인을 정성적으로 밝혔으나, 계량화에 이르지 못하였다.

최근 소성변형 유발 취성(Plastic deformation-

induced embrittlement)의 개념을 제안하였다 (Materials, Mar. 2021). 압축변형 후 재료의 소성변형은 Bauschinger 효과로 인해 인장강도가 많이 떨어지게 되고 재료의 특성과 소성변형 정도에 따라 취성파괴의 위험에 노출된다. 재료의 항복강도가 낮아진 상태에서 인장되면 인장응력이 원래의 항복강도 또는 파단응력보다 작더라도 재료가 파단될 수 있고 최대 주응력의 수직한 방향으로 취성파괴가 발생하게 된다.

냉간 셸 노징 공정에서 균열 발생의 예측에는 한계가 있다. 이 결함을 예측하기 위해서는 다양한 손상도 이론이 사용된다. 이 연구에서는 파단된 재료 간의 미세구조 차이에서 분석된 표면이 취성파괴의 가능성이 있을 수 있다는 점에 초점을 맞추었다. 이 접근법은 실제 냉간 셸 노징 공정에 적용되었으며, 그 예측은 실험 결과와 일치됨을 확인하였다.

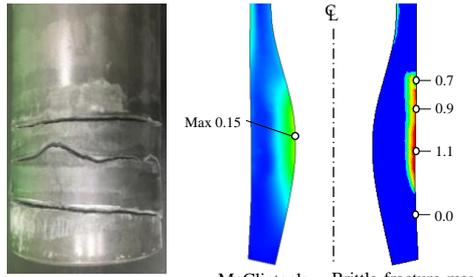


그림 2.6 셸 노징 중 압출 후 노출부의 취성파괴

## 2.10 성형불안정성 지수 도입

이미 선행연구(Int. J. Mech. Sci., Apr. 2021)에서 다음의 성형불안정성 지수가 제안되었다. 이 지수는 성형 중, 변형연화, 변형률연화, 온도연화 등으로 재료가 역학적 불안정성에 노출 여부를 알려 준다.

$$\chi = \frac{\bar{\sigma} \dot{\epsilon} D \bar{\sigma}}{C_{in} D \bar{\epsilon}}$$

그림 2.7은 동적변형시효(Dynamic strain aging)로 인한 불안정성 지수의 변화를 나타내고 있다.

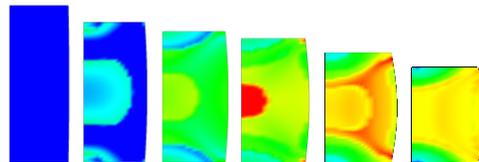


그림 2.7 불안정성 지수의 변화

한편, 그림 2.8은 알루미늄 요크 냉간단조에서 발생한 귀의 높이 불일치 문제로 해석결과에서도 이런 현상이 나타난다. 이 경우에는 그림 2.8(b)에서 보는 바와 같이 불안정성 지수에서 그 징조를 나타낸다. 강의 단조에서는 이러한 현상이 나타나지 않는다.

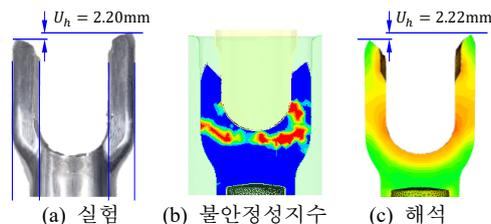


그림 2.8 알루미늄 요크 냉간단조와 불안정성 지수

## 2.11 샤프트 클린칭 해석 시 하중제어 기능

AFDEX\_V21에서 탄소성 해석 기능을 이용하여 샤프트 클린칭(Shaft clinching) 또는 회전성형(Rotary forming)의 해석 기능이 개선된다. 이 해석의 요체는 어깨 부위에서 샤프트 끝 부분과 베어링 내륜 사이의 공간이다. 연구결과, 이 공간을 예측하기 위해서 실제의 공정과 동일하게 하중 부과 금형을 사용해야 한다. 그렇게 해야 성형 후반부

의 균질화 과정에서 발생하는 국부적 소성변형의 예측과 내륜에 가해지는 응력을 정확하게 예측할 수가 있다. 그림 2.9는 베타 버전으로 제공될 신기능을 활용하여 예측한 잔류응력을 나타내고 있다.

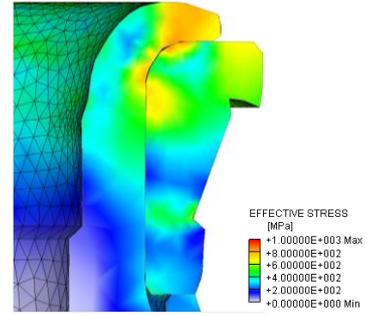


그림 2.9 샤프트 클린칭 해석 결과

## 2.12 유연 맨드렐 사용 파이프 벤딩 해석

다물체 해석 기능의 적용 예제로 유연 맨드렐을 사용한 파이프 벤딩 해석 기능이 확보되었다. 맨드렐을 해석 대상의 물체로 간주하는 것을 특징으로 한다. 이것은 다물체 해석 기능의 한 적용 예로써 이와 유사한 다수의 특수 공정이 다물체 해석 기능의 적용 대상이다.

그림 2.10은 AFDEX\_V21부터 제공될 베타 기능을 사용한 유연 맨드렐 사용 파이프 벤딩 공정의 해석 결과이다.

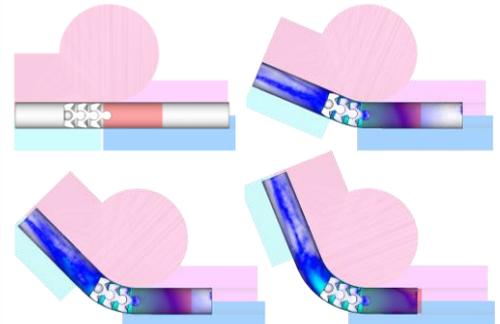


그림 2.10 유연 맨드렐 사용 파이프 벤딩 해석 결과

## 2.13 상온에서 유동응력 모델의 다양화

AFDEX\_MAT은 현재 MFRC의 고유 유동응력 모델인  $K(\epsilon)-n$  모델을 활용하여 공학적으로 정확하게 인장시험의 결과를 예측하는 유동응력을 구해준다. 현재까지는 AFDEX\_MAT의 주요 기능이 바로 그것이다. AFDEX\_V21부터 인장시험 결과로부터 획득된 정보를 활용한 다양한 종류의 유동응력 모델 식에 대한 재료상수를 구하는 기능이 제공된다. 특히, AFDEX\_MAT이 예측한  $K(\epsilon)-n$  모델 기반 유동응력은 인장시험 시의 파단 직전까지 정확하게 예측하기 때문에 공학적으로 기준 유동응력으로서 손색이 없다.

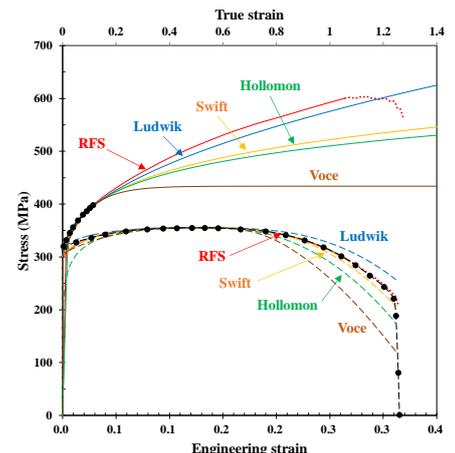


그림 2.11 진응력-진변형률 그래프(상), 인장시험의 예측 그래프(하)

따라서 이 기준 유동응력을 가장 잘 표현하는 특정 유동응력 모델의 재료 상수를 구하는 기능이 제공된다. 그림 2.11은 인장시험 관점에서 평가한 Ludwik, Voce, Swift, Hollomon 유동응력 모델을 나타내고 있다.

### 2.14 고온에서 유동응력

다양한 수식 모델이 고온에서 재료의 유동응력을 상태변수로 표현하는데 활용되고 있다.

AFDEX\_V21에서는 산업적으로 또는 학술적으로 활용되고 있는 유동응력 모델을 지원한다. 그림 2.12에서는 주요 유동응력 모델을 마그네슘 합금인 AZ80을 대상으로 비교하고 있다. 실험, Hyperbolic sine Arrhenius 모델, Hensel-Spittel 모델, 수정된 Hensel-Spittel 모델, 수정된 Johnson-Cook 모델 등은 R. Ebrahimi et al. 의 연구 결과를 활용하였고, Ebrahimi, C-m, PLF 모델은 AFDEX 관련 연구진이 작성한 것이다. 이 비교는 유동응력 모델의 중요성을 강조하고 있다.

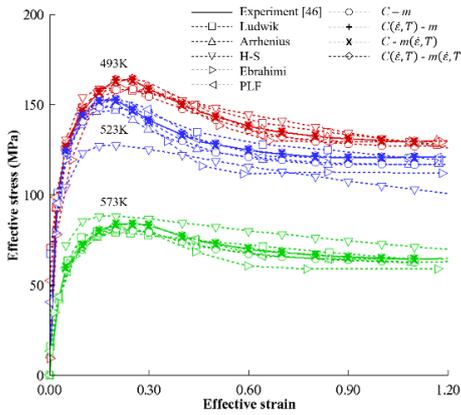


그림 2.12 AZ80의 고온 유동응력 및 수식모델의 비교 (strain rate - 0.01/s)

### 2.15 전반부 클래딩 압출공정 해석

미래지향적 친환경 기술로 다양한 재료의 효율적 사용 및 재사용 등이 활발하게 연구되고 있다. 부분적으로 특수한 기능을 가진 재료의 사용과 부위별 열처리 기술 등이 연구되거나 응용되어 왔다. 그림 2.13은 다물체 해석 기능을 활용한 압출품 전반부를 이중 금속으로 클래딩하는 전방압출 공정을 해석한 결과이다.



그림 2.13 전반부 클래딩 압출공정 해석

## 3. 공지사항

### 3.1 2021년 하반기 정기교육 일정

AFDEX 하반기 정기교육 일정은 3회 진행될 예정이며, 정부방역지침에 따라 변동될 수 있음을 알려드립니다.

표 3.1 2021 하반기 정기교육

회차	장소	날짜	지역
1	천안 인적자원개발센터	9월 2일(목)~ 3일(금)	천안
2	경남 테크노파크	10월 14일(목)~ 15일(금)	창원
3	부산 제조기반전산교육장	11월 18일(목)~ 19일(금)	부산

COVID-19로 인하여 오프라인 교육을 대체하는 방안으로 신청자에 한해 웹미팅 온라인 교육을 활용하기 바랍니다.

그리고 소규모 인원의 방문 교육(AFDEX 진주 교육장 활용)은 상시로 실시되고 있으니 참고바랍니다.

한편, 유튜브 채널을 통한 이론 및 사용법 교육을 강화하였다. 현재 소성역학 및 유한요소법에 관한 이론과 AFDEX 사용법 등이 교육되고 있다. 아울러 비전공자를 위하여 정역학 및 고체역학, 수학 등에 관한 교육도 이루어지고 있다.

유튜브에서 AFDEX를 검색하거나 아래 링크에서 AFDEX 채널에 접속할 수 있다.

(<https://www.youtube.com/c/AFDEX>)

### 3.2 KSTP 학술대회 발표

5월 13-14일(목-금) 전남 여수 소노캠 호텔에서 한국소성가공학회 2021 춘계학술대회가 개최된다. 이 학술대회에서 MFRC는 전시회에 참여할 계획이다.

한국소성가공학회에 따르면, 이번 학회에서는 기업체에서 관심을 가질 수 있는 AI, Smart manufacturing, 탄소중립(Net-zero) 및 산업기계 재제조(Remufacturing) 등에 관한 테마세션이 예정되어 있으므로 많은 사용자들께서 관심을 가져 줄 것을 당부드립니다.