

BlastRFA 사용 설명서

Kuz-Ram 모델로 발파 후 암석 파쇄입도를 예측하는 프로그램입니다. 암석의 성질(암석 계수 A)과 발파 설계 변수(장약량·버튼·스페이싱·천공경·벤치 높이)를 넣으면 평균 입도 X50, 균등지수 n, 누적 입도 분포 곡선을 계산해 줍니다.

1. 시작하기

프로그램이 무엇을 하는지, 화면이 어떻게 생겼는지, 그리고 5분 만에 첫 결과를 뽑는 방법입니다.

1-1. BlastRFA는 무엇을 하는 프로그램인가

발파를 하면 암반이 여러 크기의 조각으로 부서집니다. 이 조각들의 크기 분포는 이후 공정 전체(적재·운반·크러셔 처리량·2차 파쇄 비용)를 좌우합니다. **BlastRFA는 실제로 발파하기 전에**, 설계 변수만으로 그 크기 분포를 미리 예측합니다.

이 프로그램이 답해 주는 질문은 다음과 같습니다.

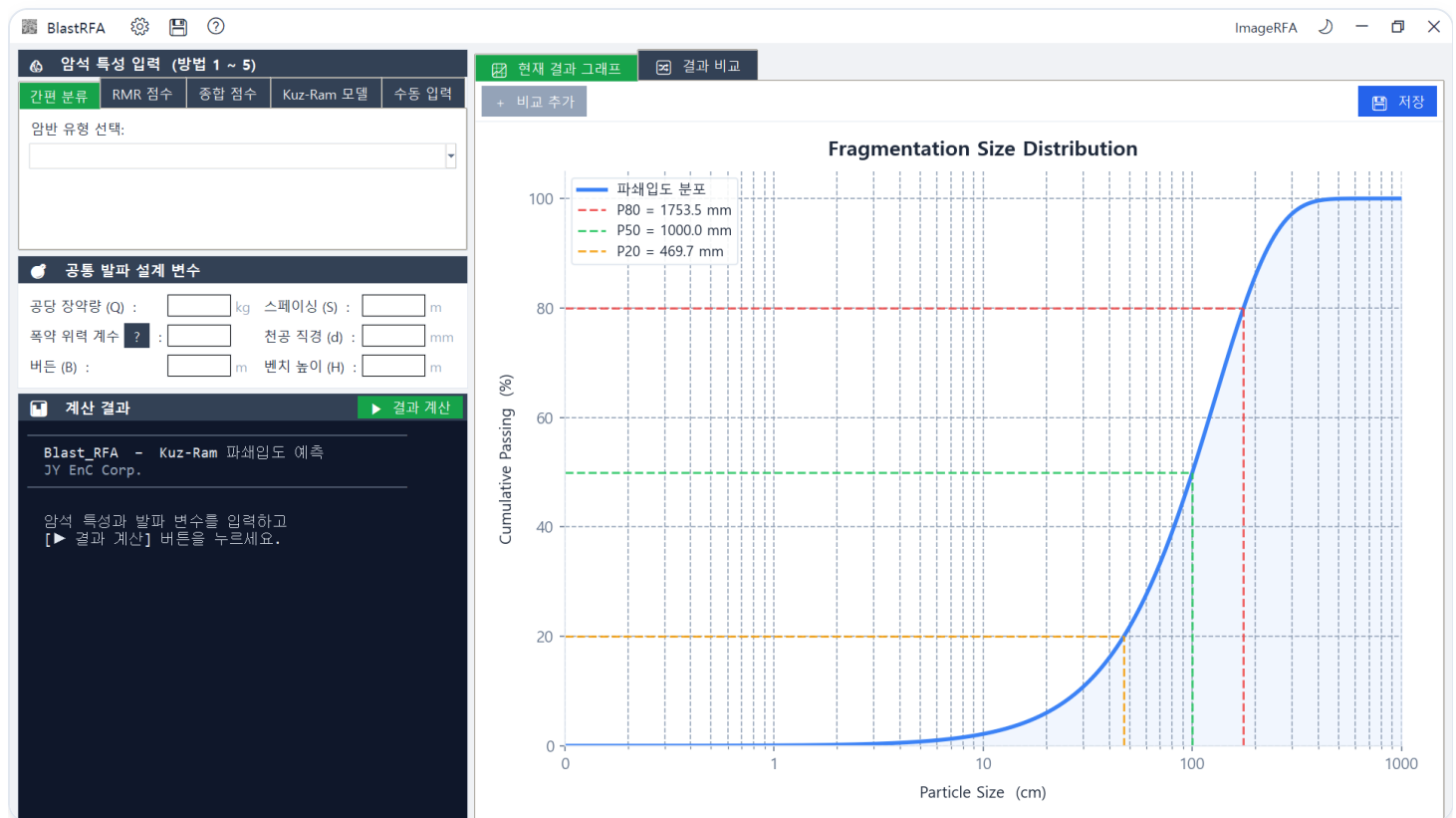
- 이 설계로 발파하면 **조각의 평균 크기(X50)**는 얼마나 될까?
- 크기가 **고르게(균일하게)** 부서질까, 잔골재와 대괴가 뒤섞일까? → 균등지수 n
- **버튼을 10 cm 줄이면** 결과가 얼마나 달라질까? → 결과 비교 기능
- 크러셔 투입 한계가 60 cm인데, **그보다 큰 조각의 비율**은? → 누적 입도 곡선

계산의 뼈대는 **Kuz-Ram 모델**입니다. 자세한 식은 7-2. 계산에 쓰이는 식에 정리해 두었습니다.

💡 예측이지 측정이 아닙니다

BlastRFA의 결과는 경험식에 기반한 **예측값**입니다. 실제로 발파한 결과를 사진으로 측정하려면 같은 RFAStudio 안의 **ImageRFA**를 쓰세요. 예측(BlastRFA) → 실측(ImageRFA) → 설계 보정, 이 흐름으로 쓰면 가장 좋습니다.

1-2. 화면 구성



BlastRFA 전체 화면

화면은 크게 왼쪽 입력 영역과 오른쪽 그래프 영역으로 나뉩니다.

영역	하는 일
① 암석 특성 입력 (왼쪽 위)	암석 계수 A 를 정합니다. 탭 5개 중 현재 선택된 탭 하나만 계산에 쓰입니다. → 2장
② 공통 발파 설계 변수 (왼쪽 가운데)	Q·RWS·B·S·d·H 여섯 개 값. 어느 탭을 쓰든 항상 필요합니다. → 3장
③ 계산 결과 (왼쪽 아래)	[▶ 결과 계산] 버튼과 결과 텍스트. 아래로 스크롤하면 통과율 1~99% 대응 입도표가 있습니다. → 4장
④ 현재 결과 그래프 (오른쪽 첫 탭)	방금 계산한 결과의 누적 입도 분포 곡선. P80/P50/P20 기준선이 함께 그려집니다.
⑤ 결과 비교 (오른쪽 둘째 탭)	여러 설계안의 곡선을 한 화면에 겹쳐 봅니다. → 5장
⑥ 하단 상태 표시 줄	계산 완료 시 X50 / n / P80 / P20 요약, 저장 경로 등을 알려 줍니다.

제목줄(타이틀바)의 버튼

버튼	기능
⚙️ 그래프 설정	X축(입도) 표시 범위를 지정합니다. → 4-5
💾 결과 저장 (CSV)	계산 결과와 입도표를 CSV로 저장합니다. → 6-1
? 도움말	문서형(이 페이지) / 따라하기 (프로그램 안 단계별 안내) 선택
ImageRFA	ImageRFA(사진 분석)로 전환합니다. 입력값은 유지됩니다.
🌈 테마	밝은 테마 / 어두운 테마 전환. 설정은 다음 실행 때도 유지됩니다.

1-3. 5분 따라하기 — 첫 결과 뽑기

아래 예제값을 그대로 넣어 보세요. 소규모 벤치 발파를 가정한 값이며, **표시된 결과와 똑같이 나오면 정상**입니다. (프로그램 안 **[따라하기]** 도움말과 같은 값입니다.)

- 1 암석 특성 — 「간편 분류」 탭 선택
「암석 특성 입력」의 첫 번째 탭 **간편 분류**를 고르고, 드롭다운에서 **보통암 (f=8~10, A=7.0)**을 선택합니다.
- 2 공통 발파 설계 변수 6개 입력
아래 표대로 채웁니다. 단위에 주의하세요(천공 직경만 mm).

Q (kg)	폭약 위력 계수	B (m)	S (m)	d (mm)	H (m)
2.863	110	1.0	1.2	45	3.0

- 3 [▶ 결과 계산] 클릭
「계산 결과」 헤더 오른쪽의 초록 버튼입니다.

- 4 결과 확인
아래 값이 나와야 합니다.

비장약량 q	평균 입도 X50	균등지수 n	P80	P20
0.795 kg/m ³	103.06 mm	1.98	157.67 mm	58.16 mm

즉 절반은 10.3 cm보다 작고, 80 %는 15.8 cm 이하, 20 %는 5.8 cm 이하로 부서진다는 뜻입니다.

- 5 그래프 보기
오른쪽 「 현재 결과 그래프」 탭에 S자 곡선이 그려집니다. 읽는 법은 4-4를 보세요.

 이어서 해 보기

여기서 **버튼(B)**만 1.2로 바꾸고 다시 계산하면 X50이 약 **119 mm**, n이 **1.83**으로 변합니다. 변수 하나가 파쇄 결과에 얼마나 영향을 주는지 5장 결과 비교에서 두 곡선을 겹쳐 확인해 보세요.

2. 암석 계수 A 정하기 (방법 1~5)

암석 계수 **A**는 “이 암반이 얼마나 부수기 어려운가”를 나타내는 숫자입니다. 보통 **3(무르고 잘 부서짐) ~ 13(단단하고 균질)** 범위이며, 결과에 가장 크게 영향을 주는 값입니다.

2-1. 다섯 가지 방법과 선택 규칙

⚠ 중요 — 탭 하나만 계산에 쓰입니다

[▶ 결과 계산]을 누르는 순간 **화면에 열려 있는 탭**의 값만 사용합니다. 다른 탭에 값을 넣어 두었더라도 무시됩니다. 계산 전에 **원하는 탭이 선택되어 있는지** 반드시 확인하세요. 결과 텍스트 첫 줄에 (방법 1: 간편 분류) 처럼 어떤 방법이 쓰였는지 표시됩니다.

탭	필요한 자료	정밀도	이럴 때 쓰세요
1. 간편 분류	암반 육안 등급	낮음	자료가 거의 없을 때, 개략 검토
2. RMR 점수	RMR 값	보통	지반조사 보고서에 RMR이 있을 때
3. 종합 점수	강도·절리 간격·방향·밀도	보통	현장에서 4개 항목을 관찰할 수 있을 때
4. Kuz-Ram 모델	밀도·UCS·절리 상태	높음	시험 자료가 있을 때 (원래 Lilly 식)
5. 수동 입력	A 값 자체	—	과거 실적으로 A를 역산해 두었을 때

2-2. 방법 1 — 간편 분류

암석 특성 입력 (방법 1 ~ 5)

간편 분류

RMR 점수

종합 점수

Kuz-Ram 모델

수동 입력

암반 유형 선택:

보통암 (f=8~10, A=7.0)

풍화암 (f=3~5, A=3.0)

연암 (f=5~8, A=5.0)

보통암 (f=8~10, A=7.0)

균열이 있는 경암 (f=10~14, A=10.0)

매우 균질한 경암 (f=12~16, A=13.0)

「간편 분류」 탭 — 암반 유형 선택

암반 등급을 하나 고르면 A가 자동으로 정해집니다. 가장 빠른 방법입니다.

선택 항목	암석 강도 계수 f	A	대략적인 예
풍화암	3~5	3.0	심하게 풍화되어 손으로도 부스러지는 암반
연암	5~8	5.0	이암·세일, 풍화가 진행된 퇴적암
보통암	8~10	7.0	일반적인 신선한 퇴적암·변성암
균열이 있는 경암	10~14	10.0	절리가 발달한 화강암·현무암
매우 균질한 경암	12~16	13.0	절리가 거의 없는 대괴상 경암

💡 판단이 애매하면

두 등급 사이라고 느껴지면 둘 다 계산해 보고 결과 비교 탭에서 겹쳐 보세요(5장). A는 X50에 선형으로 곱해지므로, A가 7 → 10이면 X50도 약 1.43배가 됩니다.

2-3. 방법 2 — RMR 점수

지반조사 보고서의 RMR(Rock Mass Rating) 등급을 그대로 고릅니다.

등급	RMR	A
Very Good Rock	81~100	13.0
Good Rock	61~80	12.0
Fair Rock	41~60	10.0
Poor Rock	21~40	8.0
Very Poor Rock	0~20	7.0

⚠ 방법 1과 값이 다릅니다

같은 “좋은 암반”이라도 방법 1의 최고값은 13, 방법 2의 최저값은 7입니다. 두 방법의 A를 섞어서 비교하지 마세요. 하나의 방법을 정해 프로젝트 전체에 일관되게 쓰는 것이 중요합니다.

2-4. 방법 3 — 종합 점수 (R1~R4 합)

네 가지 항목의 점수를 더해 A를 만듭니다. $A = R1 + R2 + R3 + R4$ (네 개 모두 선택해야 계산됩니다.)

항목	선택지	점수
R1 강도 (일축압축강도)	UCS < 75 MPa	1
	UCS 75~150 MPa	2
	UCS 150~225 MPa	3
	UCS > 225 MPa	4
R2 구조 (절리 간격)	> 3 m	1
	1~3 m	2
	0.3~1 m	3
	0.1~0.3 m	4
	< 0.1 m	5
R3 방향 (절리와 자유면 관계)	평행 경사	1
	수평	2
	자유면 경사	3
	수직	4
R4 밀도	< 2.3 t/m ³	1
	2.3~2.6 t/m ³	2
	> 2.6 t/m ³	3

가능한 A 범위는 **4 ~ 16**입니다.

⚠ R2(구조)의 방향에 주의

절리 간격이 **좁을수록 점수가 큼**니다. 이 방식에서 A는 “암반이 얼마나 촘촘히 나뉘어 있는가”를 포함한 종합 지표로 다루어집니다. 결과가 직관과 반대로 느껴지면 2-6의 검산 요령으로 확인해 보세요.

2-5. 방법 4 — Kuz-Ram 모델 (Lilly의 암반 계수)

암석 특성 입력 (방법 1 ~ 5)

간편 분류

RMR 점수

종합 점수

Kuz-Ram 모델

수동 입력

1. 암반 종류: 절리 암반 (Jointed)

2. 밀도 (g/cc): 2.6 RDI = 15.00

3. UCS (MPa): 80 HF=16.00

JCF: Relaxed Joints (JCF: 1.5)

JPS: Spacing > 0.3m (JPS: 80)

JPA: Strike parallel (JPA: 30)

RMD=111.50

☒ 지연 시간 (At) 고려

T (ms): 25

Cp (km/s): ? 4.0

At = 1.44

유효 암석 계수 $A' = A \times At$

「Kuz-Ram 모델」 탭 — 멀리 암반 + 지연 시간을 펼친 상태

가장 정밀한 방식입니다. 세 요소를 합쳐 A를 만듭니다.

$$A = 0.06 \times (RMD + RDI + HF)$$

RMD = 암반 상태 지수 (Rock Mass Description)

$$\text{RDI} = \text{밀도 영향 지수} = 25 \times \text{밀도(g/cc)} - 50$$

HF = 경도 계수 (Hardness Factor) = $UCS \div 5$

① 암반 종류를 먼저 고릅니다

선택에 따라 아래 입력칸이 자동으로 나타나거나 사라집니다.

암반 종류	추가 입력	계산 방식
가루/푸석한 암반 (Friable)	없음	$RMD = 10, HF = 0$ 으로 고정
거대 암반 (Massive)	UCS (MPa)	$RMD = HF = UCS \div 5$
절리 암반 (Jointed)	UCS + 절리 3항목	$RMD = JCF + JPS + JPA, HF = UCS \div 5$

② 밀도 입력 (모든 종류 공통)

단위는 **g/cc**입니다(예: 화강암 2.65). 입력하면 오른쪽에 **RDI = ...** 가 표시됩니다.

③ 절리 암반일 때만 — JCF / JPS / JPA

항목	뜻	선택지 (값)
JCF	절리 면의 밀착 상태	Tight Joints (1.0) / Relaxed Joints (1.5) / Gouge-filled (2.0)
JPS	절리 간격	< 0.1 m (10) / 0.1~0.3 m (20) / > 0.3 m (80)
JPA	절리 방향과 막장면 관계	Dip into face (20) / Strike parallel (30) / Dip out of face (40)

세 항목 중 하나라도 비어 있으면 “**절리 항목을 선택하세요**” 오류가 납니다.

④ 지연 시간 계수 At (선택 사항)

[지연 시간 (At) 고려]에 체크하면 T와 Cp 입력칸이 나타납니다. 기폭 지연이 파쇄에 주는 영향을 반영하며, 최종 계수는 **A' = A × At** 가 됩니다.

$$T_{\max} = (15.6 \div C_p) \times B \quad , \quad T_{\text{ratio}} = T \div T_{\max}$$

$$0 < T_{\text{ratio}} < 1 : A_t = 0.66 \cdot T_{\text{ratio}}^3 - 0.13 \cdot T_{\text{ratio}}^2 - 1.58 \cdot T_{\text{ratio}} + 2.1$$

$$T_{\text{ratio}} \geq 1 : A_t = 0.9 + 0.1 \cdot (T_{\text{ratio}} - 1)$$

$$\text{그 밖} : A_t = 1.0$$

T = 지연 시간(ms) · C_p = 암반 종파속도(km/s) · B = burden(m, 공통 변수에서 읽어옴)

T 가 너무 짧으면 → $A_t > 1$ → 입도가 커짐(불리)

적정 지연이면 → $A_t < 1$ → 입도가 작아짐(유리)

💡 C_p 값을 모를 때

C_p 라벨 옆의 [?] 버튼을 누르면 암종별 대표값이 나옵니다. (화강암 신선 4.5~5.5, 석회암 신선 4.0~6.0 km/s 등 — 9-2 참고표에도 정리해 두었습니다.) 정확한 값은 현장 탄성파 탐사 자료를 쓰세요. **C_p 는 0보다 커야 합니다.**

계산 후 각 입력칸 오른쪽에 $RDI = \dots$, $RMD = \dots$, $HF = \dots$, $A_t = \dots$ 가 표시되므로 **중간값을 계산**할 수 있습니다.

2-6. 방법 5 — 수동 입력, 그리고 A 계산 요령

A = 칸에 숫자를 직접 넣습니다. 안내 문구대로 일반 범위는 **3 ~ 13**입니다.

주로 이럴 때 씁니다.

- 과거 발파 실적(실측 X50)으로부터 A를 역산해 둔 경우
- 다른 문헌·프로그램에서 제시한 A를 그대로 적용할 경우
- A를 3, 5, 7, 9, 11로 바꿔가며 **민감도 분석**을 할 경우

A가 타당한지 확인하는 요령

1. 계산 결과의 **암석 계수 A** 줄을 봅니다. 4~14 밖이면 입력을 의심하세요.
2. 같은 발파 변수로 방법 1(간편 분류)을 돌려 봅니다. **X50이 2배 이상 차이 나면** 어느 한쪽 입력이 잘못됐을 가능성이 큼니다.
3. X50은 A에 **정비례**합니다. A를 2배로 하면 X50도 2배 — 이 관계가 맞는지 확인하면 입력 실수를 잡을 수 있습니다.

3. 공통 발파 설계 변수

암석 계수를 어떤 방법으로 정했든, 이 여섯 개 값은 **항상** 필요합니다. 하나라도 비어 있거나 숫자가 아니면 “모든 필드에 유효한 값을 입력/선택하세요” 오류가 납니다.

3-1. 여섯 개 변수 한눈에 보기

기호	이름	단위	결과에 주는 영향
Q	공당 장약량	kg	많을수록 비장약량 q ↑ → 입도 ↓ (잘게 부서짐)
RWS	폭약 위력 계수	— (무차원)	클수록 입도 ↓
B	버튼	m	클수록 q ↓ → 입도 ↑, 그리고 n ↓ (분포가 불균일)
S	스페이싱	m	클수록 q ↓ → 입도 ↑, n은 소폭 ↑
d	천공 직경	mm ⚠	n에만 영향. 클수록 n ↑ (분포가 균일)
H	벤치 높이	m	클수록 q ↓ → 입도 ↑

 가장 흔한 실수 — 천공 직경 단위

천공 직경 d만 **밀리미터(mm)**이고 나머지 길이는 미터(m)입니다. 45 mm 천공을 0.045 로 넣으면 균등 지수 n이 음수가 되어 “균등 지수(n)가 0 이하입니다” 경고가 뜹니다. 경고를 봤다면 가장 먼저 d를 확인하세요.

3-2. Q — 공당 장약량

천공 한 공에 충전되는 폭약의 질량(kg)입니다. 전체 발파의 총 장약량이 아닙니다.

공당 장약량을 모른다면 아래처럼 계산할 수 있습니다.

$Q \text{ } \Leftarrow \text{ 장약장(m) } \times \text{ 단위길이당 장약량(kg/m)}$

$\text{단위길이당 장약량} \text{ } \Leftarrow \pi \div 4 \times (\text{천공경 m})^2 \times \text{폭약 밀도(kg/m}^3\text{)}$

예) 45 mm 공에 밀도 1.15 g/cc 에멀전을 2.0 m 장전 → $0.00159 \text{ m}^2 \times 1150 \times 2.0 \text{ } \Leftarrow \text{ 3.66 kg}$

Q는 **비장약량** $q = Q \div (B \times S \times H)$ 를 통해 결과 전체를 좌우합니다. Q가 커지면 X50은 작아집니다.

3-3. 폭약 위력 계수 (RWS)

ANFO를 100으로 봤을 때 다른 폭약의 상대적 파괴력입니다. 입력칸 옆 **[?]** 버튼으로 프로그램 안에서도 바로 확인할 수 있습니다.

폭약	RWS 대표값
ANFO	100
에멀전 (Emulsion)	110 ~ 130
다이너마이트	120 ~ 150
슬러리 (Slurry)	100 ~ 120

식에서는 $(115 \div RWS)^{0.635}$ 형태로 들어가므로, RWS가 **클수록 X50이 작아집니다**(더 잘게 부서짐). 다만 지수가 0.635여서 영향은 완만합니다 — RWS를 100에서 130으로 올려도 X50은 약 16 % 줄어드는 정도입니다.

3-4. B(버튼)와 S(스페이싱)

B — 버튼 천공 열과 자유면 사이의 최단 거리 (m)

S — 스페이싱 같은 열에서 이웃한 천공 사이의 거리 (m)

둘은 두 경로로 결과에 영향을 줍니다.

- **비장약량을 통해:** $q = Q \div (B \times S \times H)$ — B나 S가 커지면 q가 줄어 입도가 커집니다.
- **균등지수를 통해:** n 식에 B/d 와 S/B 가 들어갑니다. **B가 커지면 n이 뚜렷하게 떨어져** 분포가 불균일해집니다 (잔골재와 대괴가 함께 늘어남).

💡 S/B 비율

현장에서 흔히 쓰는 S/B 는 1.0~1.5 범위입니다. n 식의 $\sqrt{(1 + S/B) \div 2}$ 항 때문에 S/B가 커지면 n이 조금 오릅니다(더 균일). 단, S를 키우면 q가 줄어 X50은 커지므로 **두 효과를 함께 봐야 합니다** — 비교 기능을 쓰세요.

3-5. d(천공 직경)와 H(벤치 높이)

d — 천공 직경 (mm)

이 값은 X50에는 전혀 영향을 주지 않고, 균등지수 n 에만 관여합니다. n 식의 $2.2 - 14 \times (B \div d)$ 항에서 B 는 m, d 는 mm 단위로 그대로 씁니다(Kuz-Ram 원식의 관례).

실무에서 자주 쓰이는 조합은 $B \div d$ (m/mm)가 대략 **0.02 ~ 0.04**입니다. 이 범위를 크게 벗어나면 n 이 비현실적인 값이 됩니다.

H — 벤치 높이 (m)

발파 단면의 높이입니다. $q = Q \div (B \times S \times H)$ 에만 들어가므로, H 가 커지면 q 가 줄고 입도가 커집니다.

3-6. 입력 전 체크리스트

 공통 발파 설계 변수

공당 장약량 (Q) :	2.863	kg	스페이싱 (S) :	1.2	m
폭약 위력 계수 ? :	110		천공 직경 (d) :	45	mm
버튼 (B) :	1.0	m	벤치 높이 (H) :	3.0	m

「공통 발파 설계 변수」 카드 — 6개 입력칸

1. 천공 직경은 **mm**로 넣었는가? (45 이지 0.045 가 아님)
2. Q는 **공당** 장약량인가? (총 장약량 아님)
3. 계산하려는 암석 특성 탭이 화면에 열려 있는가?
4. Kuz-Ram 탭이면 밀도·UCS·절리 항목이 모두 채워졌는가?
5. 지연 시간을 체크했다면 T와 C_p 를 넣었고, $C_p > 0$ 인가?
6. 소수점은 마침표(.)로 입력했는가? (쉼표는 오류)

4. 계산하고 결과 읽기

결과창의 각 줄이 무엇을 뜻하는지, 그리고 곡선을 어떻게 해석하는지 설명합니다.

4-1. 계산 실행

「 계산 결과」 헤더 오른쪽의 [▶ 결과 계산]을 누릅니다. 프로그램은 다음 순서로 동작합니다.

1. 현재 열린 탭에서 **암석 계수 A**를 구한다 (필요하면 At도)
2. 공통 변수 6개를 읽는다
3. `q`, `X50`, `n`, `P80`, `P20` 을 계산한다
4. 그래프를 다시 그리고, 결과 텍스트를 채우고, [+ 비교 추가] 버튼을 활성화한다
5. 하단 상태 표시줄에 요약을 띄운다

⚠ 계산 전에는 비교 추가를 쓸 수 없습니다

프로그램을 켜 직후 [+ 비교 추가] 버튼은 회색으로 비활성 상태입니다. **계산을 한 번 성공한 뒤에** 색이 살아나며 눌리게 됩니다.

4-2. 결과창의 각 항목

계산 결과

결과 계산

계산 조건

(방법 4: Kuz-Ram 모델)

암석 계수

A

:

8.55

시간 계수

At

:

1.44

비장약량

q

:

0.795

kg/m³

계산 결과

평균 입도

X50

:

181.39

mm

균등 지수

n

:

1.98

입도 분포

P80

(80% 통과):

277.52

mm

P50

(50% 통과):

181.39

mm

P20

(20% 통과):

102.36

mm

Partial Size(cm)

|

Passing(%)

2.141

|

1

3.045

|

2

3.746

|

3

4.343

|

4

4.873

|

5

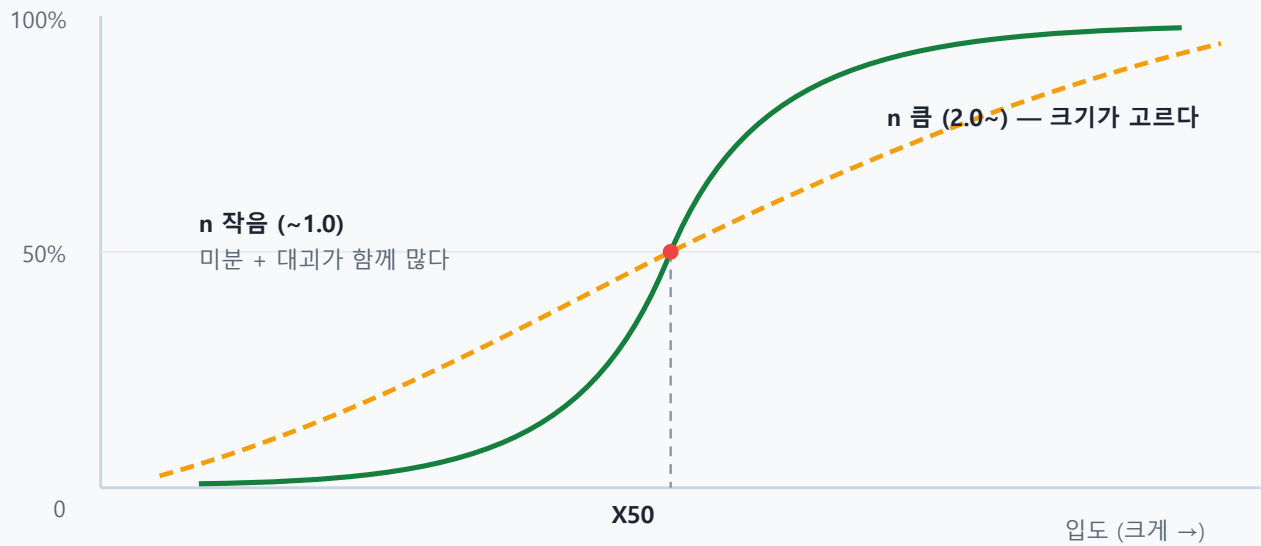
표시	뜻	읽는 법
계산 조건	사용된 방법 이름	(방법 1: 간편 분류) — 의도한 탭이 맞는지 확인
암석 계수 A	암반의 파쇄 저항	보통 3~13. 벗어나면 입력 점검
시간 계수 At	지연 시간 보정	미사용 시 항상 1.00
비장약량 q	암석 1 m³당 폭약량 (kg/m³)	노천 벤치 발파는 대략 0.3~1.0. 이 범위 밖이면 Q·B·S·H 확인
평균 입도 X50	중양 입경 (mm)	조각의 절반이 이 크기보다 작다는 뜻
균등 지수 n	분포의 고름 정도	클수록 크기가 고르다 → 4-3
P80	80 % 통과 입경 (mm)	대괴 관리 기준. 크러셔 투입구 규격과 비교
P50	50 % 통과 입경	X50과 같은 값
P20	20 % 통과 입경 (mm)	잔골재(미분) 발생량의 지표
입도표	통과율 1~99 % 대응 입경	결과창을 아래로 스크롤. 단위는 cm △

△ 단위가 섞여 있습니다

위쪽 요약(X50·P80·P20)은 mm, 아래 입도표(Partial Size)는 cm, 그래프의 X축도 cm입니다. 같은 결과를 다른 단위로 보여 주는 것이니 놀라지 마세요. (103.06 mm = 10.306 cm)

4-3. 균등지수 n 해석하기

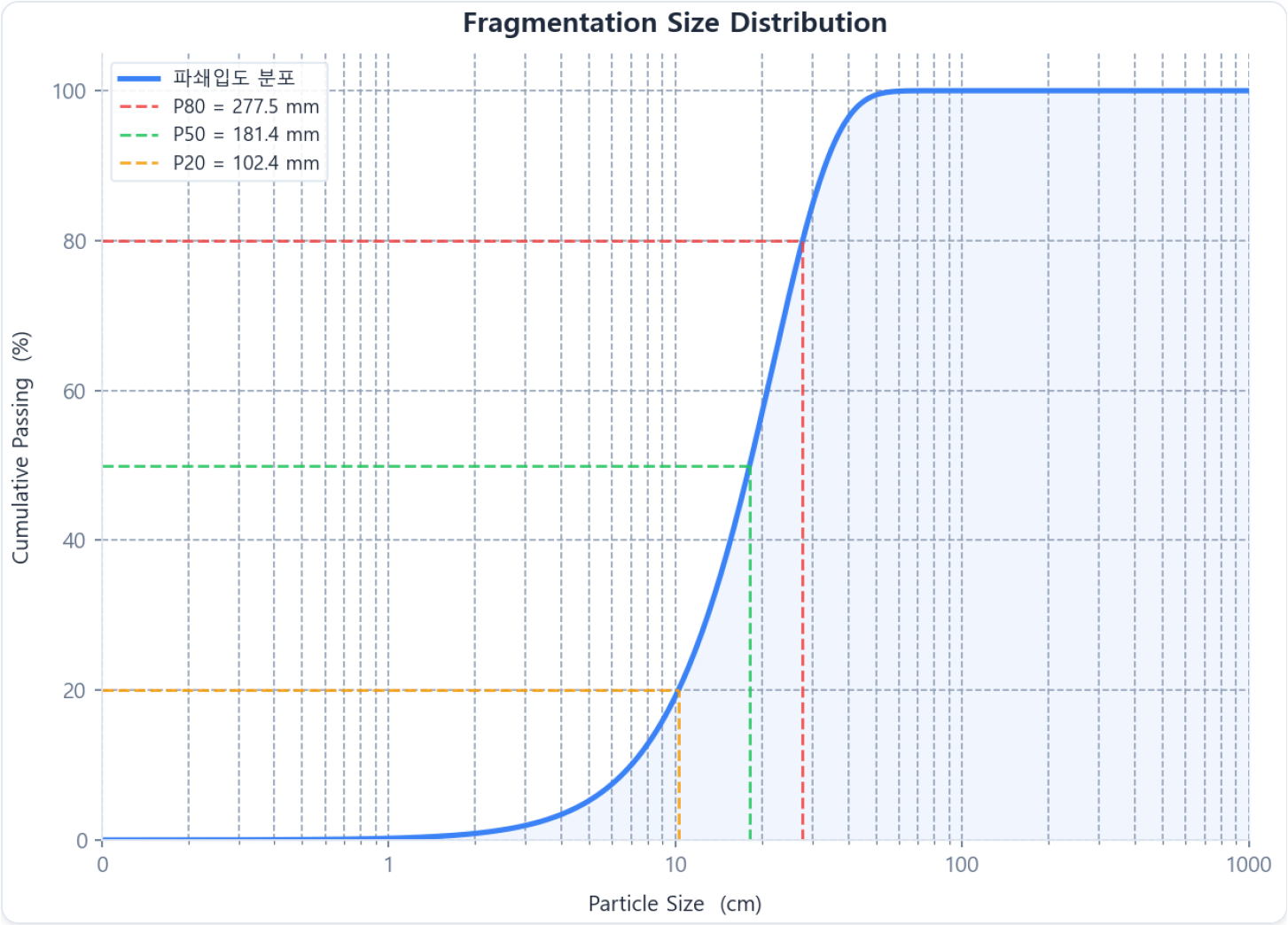
n은 “조각 크기가 얼마나 비슷비슷한가”를 나타냅니다. X50이 같아도 n이 다르면 완전히 다른 발파입니다.



n	분포	현장에서의 의미
~ 0.8	매우 불균일	미분과 대괴가 뒤섞임. 2차 파쇄·선별 부담이 큼
0.8 ~ 1.2	불균일	대괴 발생 위험. 버든 재검토 권장
1.2 ~ 1.7	보통	일반적인 발파에서 흔한 범위
1.7 ~ 2.2	균일	양호. 후속 공정이 안정적
2.2 ~	매우 균일	이상적. 다만 입력값이 현실적인지 재확인 권장

n을 올리고 싶다면 **버든을 줄이거나, 천공 직경을 키우거나, S/B 비를 조금 키우는** 방향으로 검토합니다.

4-4. 누적 입도 분포 곡선 읽는 법

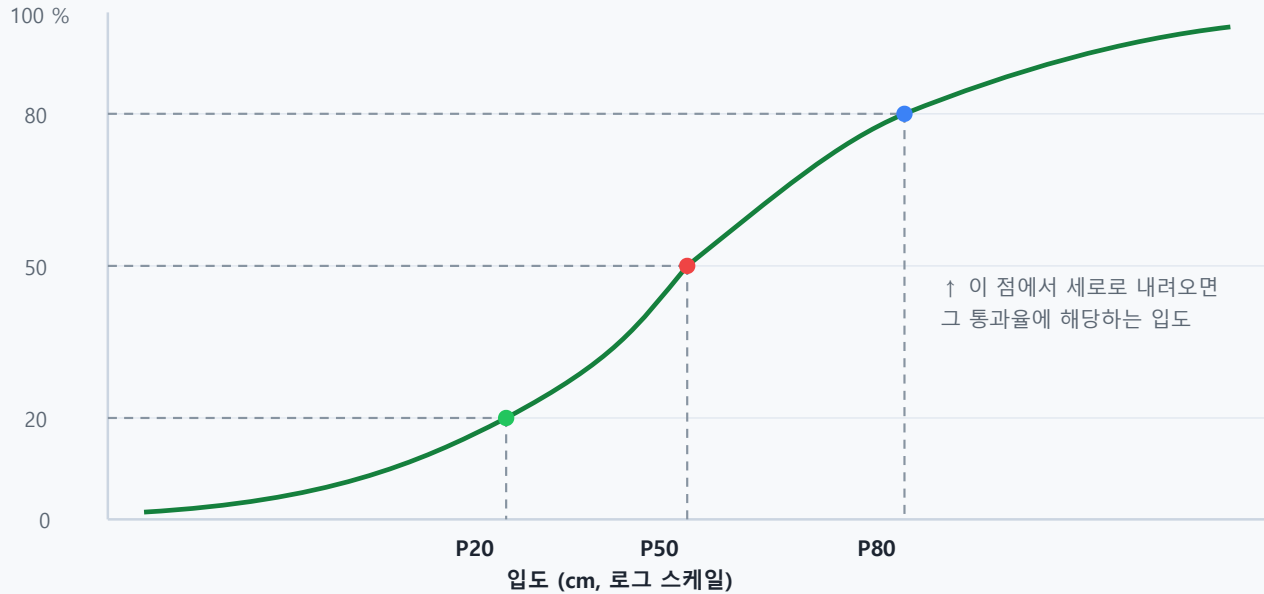


현재 결과 그래프 — 분포 곡선과 P80/P50/P20 기준선

오른쪽 「 현재 결과 그래프」 탭의 곡선입니다.

- 가로축 — 입도(cm). 로그 스케일입니다(눈금 간격이 일정하지 않음).
- 세로축 — 누적 통과율(%). "이 크기보다 작은 조각이 전체의 몇 %인가".

누적 통과율



실무에서 쓰는 두 가지 읽기

1. “대괴가 몇 %나 나올까?”

크러셔 투입 한계가 60 cm라면, 가로축 60 cm에서 위로 올라가 곡선과 만나는 점의 세로값을 읽습니다. 그 값이 92 %라면 **8 %가 한계를 넘는 대괴**입니다.

2. “상위 20 %는 얼마나 클까?”

세로축 80 %에서 오른쪽으로 가 곡선을 만나면 P80입니다. 그보다 큰 조각이 전체의 20 %입니다.

곡선 위에 **P80 / P50 / P20 기준선**이 점선으로 함께 그려지고, 범례에 각 값이 mm 단위로 표시됩니다.

4-5. 그래프 설정 (X축 범위)

 그래프 설정 ×

X축 최소값 (cm):

0.1

X축 최대값 (cm):

1000

적용

그래프 설정 팝업

제목줄의  아이콘을 누르면 X축 표시 범위를 지정할 수 있습니다.

X축 최소값 (cm) 기본 0.1

X축 최대값 (cm) 기본 1000

[적용]을 누르면 현재 결과 그래프와 결과 비교 그래프에 동시에 반영됩니다.

곡선이 화면 구석에 뭉쳐 보일 때

기본 범위 0.1~1000 cm는 매우 넓어서, 실제 결과가 5~50 cm 구간에 몰려 있으면 곡선이 짧게 보입니다. 범위를 1 ~ 50 정도로 좁히면 곡선의 모양과 기울기가 훨씬 잘 보입니다. 비교 그래프에서 여러 곡선을 나란히 볼 때 특히 효과적입니다.

⚠ 숫자가 아닌 값

숫자가 아닌 글자를 넣으면 "유효하지 않은 숫자를 입력하세요" 오류가 납니다. 비워 두면 기본값이 적용됩니다.

5. 결과 비교 — 설계안 검토

BlastRFA의 진짜 쓸모는 “무엇을 바꾸면 얼마나 좋아지는가”를 눈으로 확인하는 데 있습니다. 여러 계산 결과를 하나의 그래프에 겹쳐 봅니다.

5-1. 비교 목록에 추가하기

1 계산을 먼저 한다

[▶ 결과 계산]으로 결과를 만듭니다. 그래야 [+ 비교 추가]가 활성화됩니다.

2 「 현재 결과 그래프」 탭에서 [+ 비교 추가]

클릭합니다.

3 범례 이름을 입력

그래프 범례에 표시될 이름입니다. 무엇이 다른지 알 수 있게 지으세요.

좋은 예: 버튼 1.0m, ANFO_보통암, Case-A_q0.8

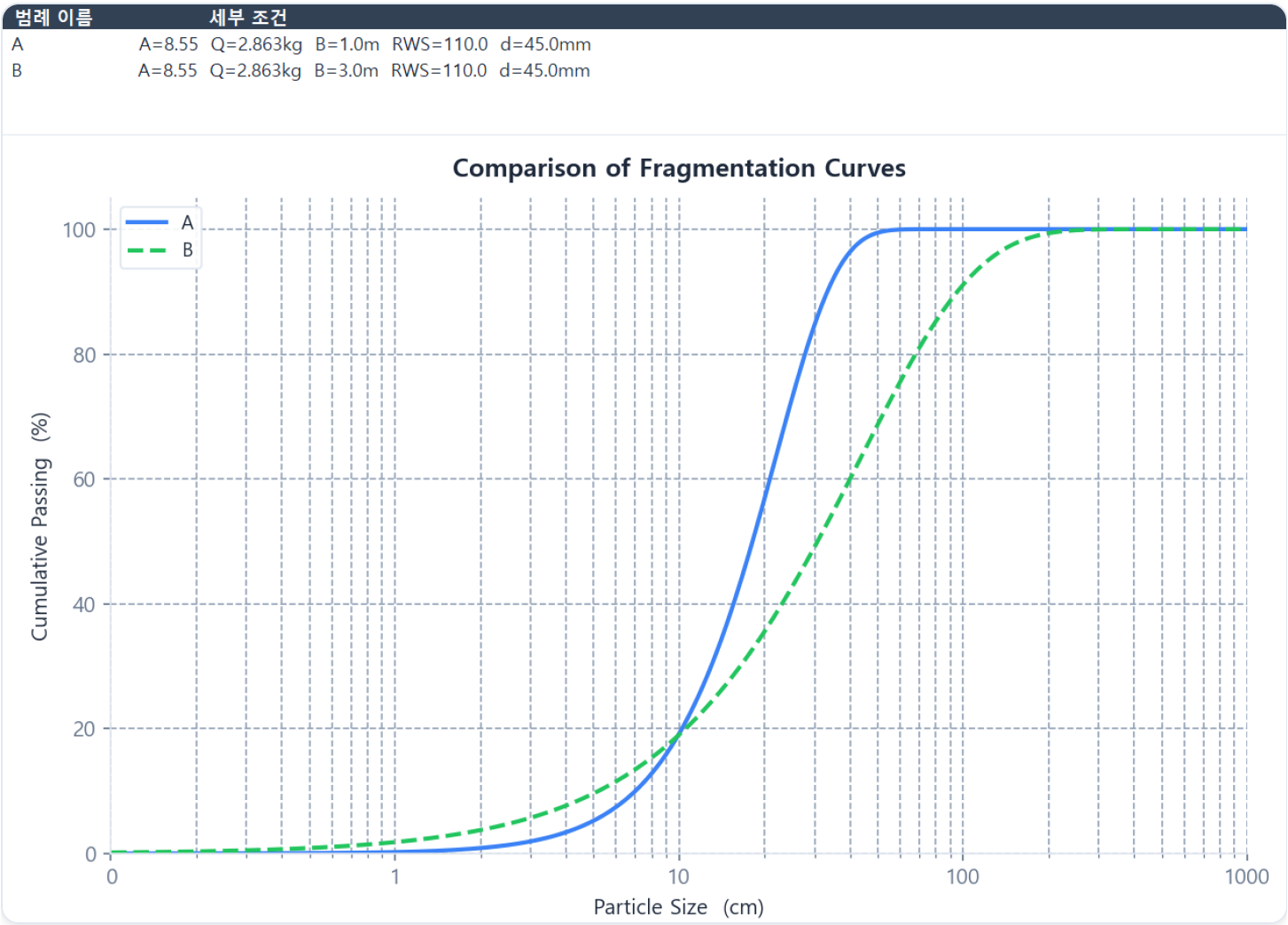
나쁜 예: 1, 테스트

4 자동으로 비교 탭이 열린다

추가되면 「 결과 비교」 탭으로 화면이 전환되고 곡선이 그려집니다.

목록에는 범례 이름과 함께 세부 조건이 자동으로 적힙니다 — A=7.00 Q=2.863kg B=1.0m RWS=110.0 d=45.0mm 형
태라서 나중에 어떤 조건이었는지 되짚을 수 있습니다.

5-2. 비교 탭 다루기



결과 비교 탭 — 목록과 겹친 곡선

버튼	동작
전체 삭제	비교 목록을 모두 지웁니다(확인 팝업이 뜹니다).
선택 삭제	목록에서 고른 항목만 지웁니다. Ctrl Shift 로 여러 개 선택 가능.
저장	비교 그래프를 PNG/JPG 이미지로 저장합니다. → 6-2

곡선은 추가 순서대로 **색과 선 모양(실선·파선·일점쇄선...)**이 자동 배정되어 흑백으로 인쇄해도 구분됩니다. 색은 7종, 선 모양은 5종이 순환합니다.

💡 몇 개까지 겹칠 수 있나

개수 제한은 없지만, 3~5개를 넘으면 읽기 어려워집니다. 변수 하나만 바꾼 2~3개를 비교하는 것이 결론을 내리기에 가장 좋습니다.

5-3. 활용 예 — 버든을 바꾸면?

1-3의 예제값에서 **버든만** 바꿔 두 안을 비교해 보겠습니다.

1 B = 1.0 으로 계산 → 비교 추가

범례 이름 **버든 1.0m**

2 버든만 1.2로 고쳐 다시 계산

다른 값은 그대로 둡니다.

3 다시 비교 추가

범례 이름 **버든 1.2m**

4 두 곡선 비교

안	비장약량 q	X50	균등지수 n	해석
버든 1.0 m	0.795 kg/m ³	103 mm	1.98	더 잘게, 더 고르게
버든 1.2 m	0.663 kg/m ³	119 mm	1.83	입도 ↑, 균일도 ↓

버든을 20 cm 늘리자 평균 입도가 **약 16 % 커지고** 분포도 덜 고르게 되었습니다. 그래프에서는 **버든 1.2 곡선이 오른쪽(큰 입도 쪽)으로 이동하면서 기울기도 완만해집니다.**

이런 식으로 비교해 볼 만한 조합:

- **폭약 교체** — RWS 100(ANFO) vs 120(에멀전)
- **천공 패턴** — 천공 수를 줄이는 대신 B·S를 키우면 입도가 얼마나 나빠지는가(경제성 검토)
- **암반 변화 대응** — 같은 설계로 A=5(연암) 구간과 A=10(경암) 구간을 지날 때
- **장약량 조정** — Q를 10 % 늘렸을 때 대괴 감소 효과

6. 저장과 내보내기

계산 결과는 데이터(CSV)와 그림(PNG/JPG) 두 형태로 저장할 수 있습니다.

6-1. CSV로 결과 저장

제목줄의  아이콘을 누릅니다. 저장 위치와 파일 이름을 정하면 `.csv` 로 저장됩니다.

CSV에 들어가는 내용

- **왼쪽 열들** — 계산 조건과 결과 요약: 계산방식, 암석계수(A), 시간계수(At), 장약량(Q), 폭약위력계수, 버든(B), 스페이싱(S), 천공경(d), 벤치높이(H), 비장약량(q), 평균입도(X50), 균등지수(n), P80, P20
- **오른쪽 열들** — 통과율 1~99 %와 그에 대응하는 입도(cm) 99행

엑셀에서 한글이 깨지지 않습니다

`utf-8-sig` 인코딩으로 저장되므로 엑셀에서 바로 열어도 한글 항목명이 정상 표시됩니다. 이 CSV의 통과율/입도 열로 **엑셀에서 직접 그래프를 다시 그리거나**, 여러 발파의 결과를 한 시트에 모아 관리할 수 있습니다.

계산을 먼저 해야 합니다

결과가 없는 상태에서 저장하면 “먼저 계산을 실행하세요” 안내가 나옵니다. 또한 저장되는 것은 **마지막으로 계산한 결과 한 건**입니다(비교 목록 전체가 아님).

6-2. 그래프를 이미지로 저장

각 그래프 탭의 오른쪽 위 [ 저장] 버튼을 씁니다.

어디서 눌렀나	저장되는 것
「  현재 결과 그래프」의 [ 저장]	현재 결과 곡선 그래프
「  결과 비교」의 [ 저장]	여러 곡선이 겹쳐진 비교 그래프

형식은 **PNG**(기본) 또는 **JPG**이며, **300 dpi** 고해상도로 여백을 잘라 저장하므로 보고서·발표자료에 바로 넣어도 선명합니다.

 보고서용 팁

저장 전에  그래프 설정으로 X축 범위를 결과에 맞게 좁혀 두면 훨씬 읽기 좋은 그림이 나옵니다. 또, **어두운 테마 상태에서 저장하면 배경이 어두운 그래프가 저장됩니다.** 흰 배경 보고서에 넣을 그림은 **밝은 테마로 바꾼 뒤** 저장하세요.

7. 이론 배경

결과를 신뢰하고 설명하려면 무엇을 계산하고 있는지 알아야 합니다. 계산에 쓰이는 식을 그대로 공개합니다.

7-1. Kuz-Ram 모델 개요

Kuz-Ram은 두 부분이 합쳐진 이름입니다.

- **Kuznetsov 식** — 평균 입도 X50을 구합니다. “얼마나 잘게 부서지는가”
- **Rosin-Rammler 분포** — 그 평균 주위로 크기가 어떻게 퍼지는가를 나타냅니다. 퍼짐 정도가 균등지수 n입니다.

거기에 Cunningham의 **균등지수 n** 식이 더해져, 천공 배치(B, S, d)로부터 n을 추정합니다.

즉 **X50(위치)**과 **n(퍼짐)** 두 숫자만 정해지면 전체 입도 곡선이 결정됩니다.

7-2. 계산에 쓰이는 식

① 비장약량

$$q = Q \div (B \times S \times H)$$

단위 kg/m³ — 암석 1 m³를 부수는 데 쓰인 폭약량

② 평균 입도 (Kuznetsov)

$$X50 \text{ [cm]} = A \times At \times q^{-0.8} \times Q^{1/6} \times (115 \div RWS)^{0.635}$$

$$X50 \text{ [mm]} = X50 \text{ [cm]} \times 10$$

A = 암석 계수, At = 지연 시간 계수(기본 1.0), q = 비장약량, Q = 공당 장약량(kg), RWS = 폭약 위력 계수

③ 균등지수 (Cunningham)

$$n = (2.2 - 14 \times (B \div d)) \times \sqrt{(1 + S \div B) \div 2}$$

B = 버든(m), d = 천공 직경(mm), S = 스페이싱(m) — B와 d의 단위가 다른 점에 주의

④ 특성 입경과 통과율별 입도 (Rosin-Rammler)

$$X_c = X_{50} \div (\ln 2)^{1/n}$$

$$P(x) = 100 \times (1 - e^{-(x \div X_c)^n}) \quad [\%]$$

$$x(P) = X_c \times (-\ln(1 - P/100))^{1/n}$$

X_c = 특성 입경(63.2 % 통과 입경) · $P(x)$ = 입도 x 이하의 누적 통과율

P80·P50·P20과 결과창의 1~99 % 입도표, 그래프 곡선 모두 이 식으로 만들어집니다.

⑤ 지연 시간 계수

2-5의 At 식을 참고하세요.

검산 예 (1-3 예제값)

$$\begin{aligned} q &= 2.863 \div (1.0 \times 1.2 \times 3.0) = 0.7953 \text{ kg/m}^3 \quad X_{50} = 7.0 \times 1.0 \times 0.7953^{(-0.8)} \times \\ &2.863^{(1/6)} \times (115 \div 110)^{0.635} = 7.0 \times 1.2011 \times 1.1916 \times 1.0286 = 10.305 \text{ cm} = 103.06 \text{ mm} \quad n \\ &= (2.2 - 14 \times (1.0 \div 45)) \times \sqrt{((1 + 1.2 \div 1.0) \div 2)} = 1.8889 \times 1.0488 = 1.981 \quad X_c = 103.06 \div \\ &(\ln 2)^{(1/1.981)} = 103.06 \div 0.8311 = 124.0 \text{ mm} \quad P_{80} = 124.0 \times (-\ln 0.2)^{(1/1.981)} = 157.7 \text{ mm} \\ P_{20} &= 124.0 \times (-\ln 0.8)^{(1/1.981)} = 58.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

7-3. 모델의 한계 — 반드시 알아 둘 것

💡 이 결과는 설계 검토용 예측치입니다

Kuz-Ram은 경험식이며, 실제 파쇄 결과는 아래 요인들 때문에 예측과 다를 수 있습니다. **안전이나 계약에 직결되는 판단은 반드시 현장 실측으로 검증하세요.**

- **미분(잔골재) 구간의 과소 예측** — Rosin-Rammler 단일 곡선은 아주 작은 입도 영역을 실제보다 적게 예측하는 경향이 있습니다(그래서 KCO 등 개량 모델이 존재합니다).
- **암반의 불균질성** — 실제 암반은 층리·단층·공동이 있어 위치마다 다르게 부서집니다. A 하나로는 답을 수 없습니다.
- **기폭 방식·정확도** — 지연 오차, 불발, 장약 위치 편차는 모델에 들어가지 않습니다(At는 이상적 지연만 반영).
- **자유면 조건** — 자유면이 부족하면 실제 입도는 예측보다 크게 나옵니다.
- **n 식의 적용 범위** — B/d 가 통상 범위(약 0.02~0.04 m/mm)를 벗어나면 n이 비현실적(0 이하 등)이 됩니다.

💡 신뢰도를 높이는 방법

실적 보정이 가장 확실합니다. 현장에서 발파한 뒤 ImageRFA로 실측 X50을 구하고, 같은 조건으로 BlastRFA가 예측한 X50과 비교해 **A를 역보정**하세요. 그 현장에 맞는 A를 찾고 나면 이후 예측 정확도가 크게 올라갑니다.

8. 문제 해결

자주 만나는 메시지와 그 원인·해결책입니다.

8-1. “모든 필드에 유효한 값을 입력/선택하세요”

숫자로 바꿀 수 없는 입력이 있다는 뜻입니다. 아래를 순서대로 확인하세요.

- 1. 공통 변수 6칸 중 빈 칸이 있는가
- 2. 암석 특성 탭의 드롭다운이 선택되지 않은 채인가 (특히 방법 1·2·3)
- 3. Kuz-Ram 탭이라면 밀도, (거대·절리 암반일 때) UCS가 비었는가
- 4. 지연 시간을 체크했다면 T, Cp가 채워졌는가
- 5. 숫자에 십표·단위 문자·공백이 섞이지 않았는가 (2,863 X → 2.863 ✓)

8-2. “균등 지수(n)가 0 이하입니다” 경고

n 식의 $2.2 - 14 \times (B \div d)$ 가 0 이하가 됐다는 뜻입니다. 즉 **버튼에 비해 천공이 너무 가늘다**고 계산된 것입니다.

원인	확인 / 해결
d를 m로 입력 (가장 흔함)	45 mm는 45 . 0.045 가 아닙니다.
B를 cm로 입력	1 m는 1.0 . 100 이 아닙니다.
실제로 버튼이 과대	$B \div d$ 가 0.157 이상이면 $n \leq 0$. 설계 자체를 재검토하세요.

이 상태에서는 P80/P20이 X50과 같은 값으로 채워지고 곡선도 의미가 없습니다. **입력을 고쳐 다시 계산하세요.**

8-3. 결과가 비정상적으로 크거나 작다

증상	먼저 볼 곳
X50이 수 m로 나온다	비장약량 q를 확인. q가 0.1 미만이면 Q가 너무 작거나 B·S·H가 과대
X50이 1 mm 수준이다	q가 5 이상이면 Q 과대 또는 B·S·H 과소. Q가 총 장약량 이 아닌지 확인
A가 예상과 다르다	결과 첫 줄의 계산 조건 이 의도한 방법인지 확인 (다른 탭이 열려 있었을 수 있음)
At가 1이 아니다	Kuz-Ram 탭의 [자연 시간 고려] 체크가 켜져 있습니다

정상 범위 감각: 노천 벤치 발파에서 q는 대략 0.3~1.0 kg/m³, X50은 수 cm~수십 cm입니다.

8-4. 그래프에 곡선이 안 보이거나 이상하다

- **곡선이 왼쪽·오른쪽 끝에 붙어 있다** → X축 범위 문제. ⚙️ 그래프 설정에서 결과 입도에 맞게 범위를 조정하세요 (예: 1~50 cm).
- **비교 탭이 비어 있다** → 비교 목록이 비었습니다. [+ 비교 추가]로 항목을 넣으세요.
- **탭을 옮기니 그래프가 잘려 보인다** → 창 크기를 살짝 바꾸거나 탭을 다시 눌러 보세요. 탭 전환 시 캔버스 크기가 다시 계산됩니다.
- **계산 전 곡선** → 프로그램을 켜면 예시 곡선(X50 = 1000 mm, n = 1.5)이 먼저 그려져 있습니다. 계산하면 실제 결과로 바뀝니다.

8-5. 그 밖

증상	해결
그래프의 글자가 네 모(□)로 보인다	시스템에 한글 폰트(맑은 고딕)가 없을 때 발생합니다. Windows 기본 폰트가 설치되어 있는지 확인하세요.
저장한 그래프의 배경이 어둡다	어두운 테마에서 저장했기 때문입니다. 제목줄의  로 밝은 테마로 바꾼 뒤 다시 저장하세요.
입력한 값이 사라졌다	ImageRFA로 전환해도 입력은 유지됩니다. 다만 프로그램을 완전히 종료하면 입력값은 저장되지 않습니다. 필요한 조건은 CSV로 저장해 두세요.
따라하기 안내가 화면을 가린다	말풍선의 머리 부분을 끌어 옮길 수 있습니다. 중단하려면 제목줄의 ?를 다시 누르거나 [그만두기]를 누르세요.

9. 부록

기호·단위와 참고값을 한곳에 모았습니다.

9-1. 기호와 단위

기호	이름	단위	비고
A	암석 계수	—	보통 3~13
At	지연 시간 계수	—	미사용 시 1.0
Q	공당 장약량	kg	공 1개 기준
RWS	폭약 위력 계수	—	ANFO = 100
B	버든	m	
S	스페이싱	m	
d	천공 직경	mm	유일하게 mm
H	벤치 높이	m	
q	비장약량	kg/m ³	계산값
X50 · P50	평균(중앙) 입도	mm	표·그래프에서는 cm
n	균등지수	—	클수록 균일
P80 · P20	80 % · 20 % 통과 입경	mm	
Xc	특성 입경	mm	63.2 % 통과
T	지연 시간	ms	선택 입력
Cp	암반 종파속도	km/s	선택 입력, > 0

9-2. 참고값 표

암반 종파속도 Cp (km/s)

암종 / 상태	Cp
화강암 (신선)	4.5 ~ 5.5
화강암 (풍화)	2.0 ~ 4.0
석회암 (신선)	4.0 ~ 6.0
석회암 (풍화)	2.0 ~ 3.5
사암 (신선)	2.5 ~ 4.5

정확한 값은 현장 탄성파 탐사 자료를 우선하세요.

암석 계수 A 요약 (방법별)

방법	A 범위	결정 방식
1. 간편 분류	3 ~ 13	등급 선택
2. RMR 점수	7 ~ 13	등급 선택
3. 종합 점수	4 ~ 16	R1+R2+R3+R4
4. Kuz-Ram 모델	계산값	$0.06 \times (RMD + RDI + HF)$
5. 수동 입력	임의	직접 입력

9-3. 화면 아이콘 정리

아이콘 / 버튼	위치	기능
	제목줄 왼쪽 (제목 옆)	그래프 설정 (X축 범위)
	제목줄 왼쪽 (제목 옆)	결과 저장 (CSV)
?	제목줄 왼쪽 (제목 옆)	도움말 — 문서형 / 따라하기
ImageRFA	제목줄 오른쪽	사진 분석 앱으로 전환
	제목줄 오른쪽	밝은/어두운 테마 전환
[?]	폭약 위력 계수 옆	RWS 대표값 안내
[?]	Cp 입력칸 옆	종파속도 대표값 안내
▶ 결과 계산	계산 결과 헤더	계산 실행
+ 비교 추가	현재 결과 그래프 탭	비교 목록에 추가 (계산 후 활성화)
 저장	각 그래프 탭	그래프를 PNG/JPG로 저장
 / ✕	결과 비교 탭	전체 삭제 / 선택 삭제

9-4. 프로그램 안 「따라하기」

제목줄 ? → [따라하기]를 고르면, 프로그램 화면 위에 **노란 테두리**로 눌러야 할 곳을 표시하고 **말풍선**으로 설명하는 단계별 안내가 시작됩니다.

- 이 문서의 1-3 예제값을 직접 입력하며 진행합니다.
- 말풍선의 머리를 끌어 **위치를 옮길 수** 있습니다.
- 중단하려면 말풍선의 **[그만두기]** 또는 제목줄 ?를 다시 누릅니다.
- 일부 단계에는 **[건너뛰기]**가 있습니다(건너뛰어도 뒤 단계가 성립하는 경우만).