



# 최적선형구간 선정 알고리즘을 이용한 LabVIEW 기반의 자동 Q-factor 산출프로그램

김민영<sup>1)</sup> · 하지호<sup>1)</sup> · 신성렬<sup>1)\*</sup> · 정우근<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 한국해양대학교 에너지자원공학과

## 서론

**특정** 주파수대역에서의 감쇠량을 감쇠계수(attenuation coefficient)로 정의하며 탄성파의 감쇠를 표현하기 위하여 무차원의 변수인 Q-factor(Q값)를 통해 탄성파의 감쇠정도를 표현한다. Spectral ratio method는 중심주파수 부근의 가장 선형성을 보이는 주파수 구간을 선정하고 그때의 기울기 값을 이용하여 Q값을 산출한다. 하지만 주파수 구간의 선정은 개인의 주관적인 판단을 요구하며, 선정된 주파수 구간에 따라 산출되는 Q값은 달라지기 때문에 정량적인 Q값 산출에 어려움이 존재한다. 본 연구에서는 spectral ratio method를 이용하여 보다 정량적인 Q값 산출을 위해, **최적의 선형성을 보이는 주파수구간 선정 알고리즘을 제안**하였으며 그래픽기반의 언어이며 타언어에 비해 프로그램 제작이 용이한 LabVIEW를 이용하여 해당 알고리즘을 적용한 **자동 Q-factor 산출 프로그램**을 제작하였다.

## 본론

### 1. Spectral ratio method

- 실내시험법에서 탄성파 감쇠를 계산하기 위해 Toksoz 등(1979)에 의해 제안된 방법
- 지하의 지하학적 구조와 수진기의 배열에서 발생하는 외부감쇠와 탄성파와 다공성 매질의 상호작용에 의한 고유감쇠를 구별하기 위해 사용
- 감쇠가 거의 발생하는 기준매질(reference)과 형태 및 자료취득 조건을 동일하게 일치시켜 준 비교매질(sample)의 탄성파 자료 중, S/N가 높은 직접파 신호를 이용하여 두 매질간 진폭 스펙트럼 비를 이용하여 상대적인 감쇠정도를 측정하고 이를 통해 비교매질의 Q값을 산출

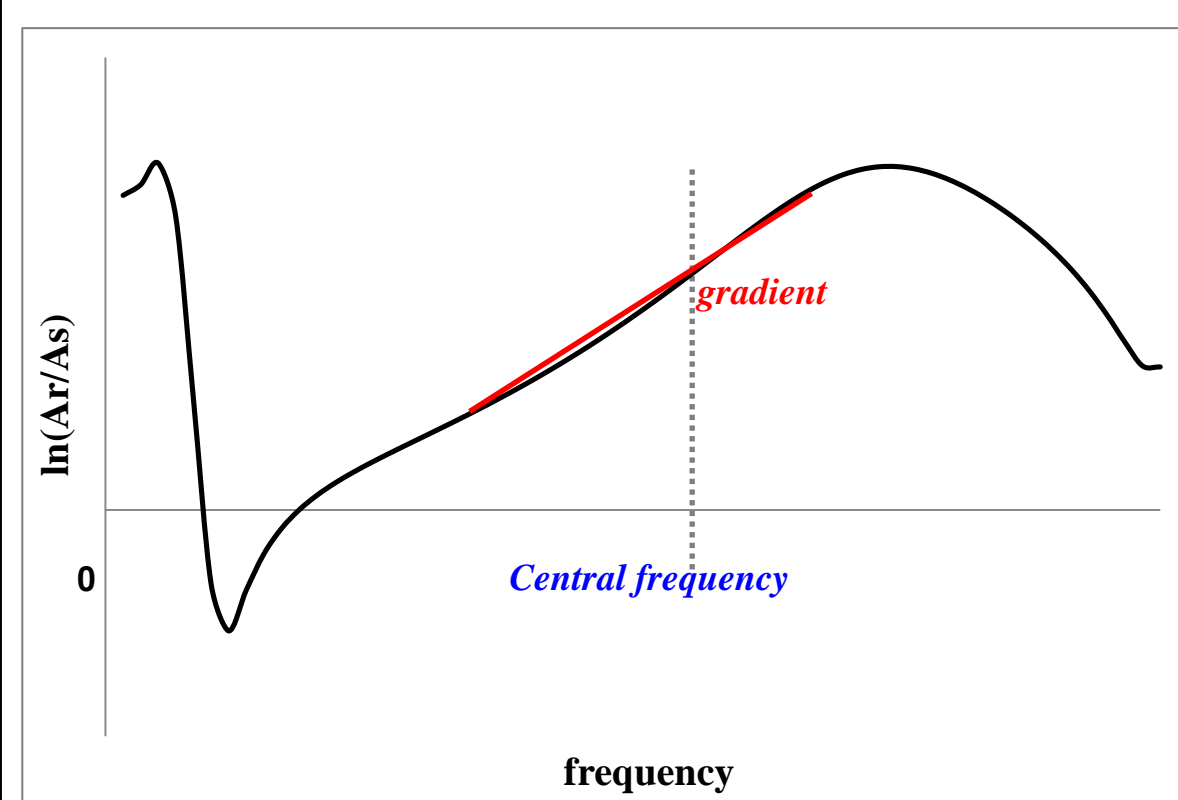
$$\text{Eq.1 } A_r = G_r e^{-\alpha_r x} e^{i(2\pi f t - k_r x)}$$

$$\text{Eq.2 } A_s = G_s e^{-\alpha_s x} e^{i(2\pi f t - k_s x)}$$

$$\text{Eq.3 } \ln(A_r / A_s) = (\gamma_s - \gamma_r) x f + \ln(G_r / G_s)$$

$$\text{Eq.4 } Q = \pi / \gamma \nu$$

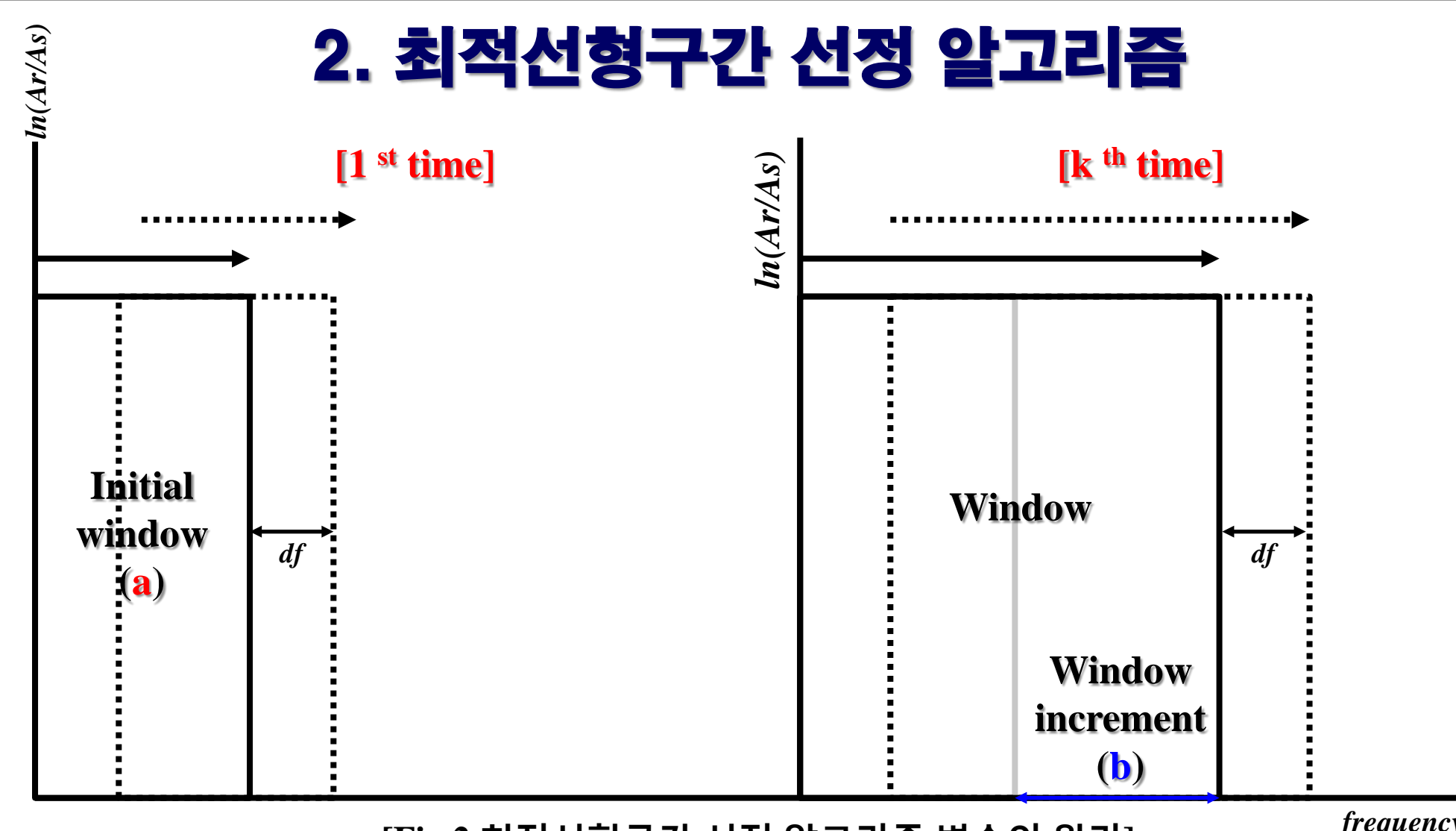
- A : 탄성파의 스펙트럼 진폭
- G : geometrical factors
- x : 탄성파의 이동거리
- a : 감쇠계수 ( $\alpha = \gamma f$ )
- $\gamma$  : Q-factor와 관계된 상수
- f : 주파수



[Fig.1  $\ln(A_r/A_s)$  & frequency 그래프]

- Eq.3의 방정식을 통해 그래프로 표현
- 전체 주파수범위에서 중심주파수(Central frequency) 부근의 가장 선형성을 보이는 주파수구간을 선정하고 다음 선형회귀분석을 통해 해당 구간의 기울기(gradient) 값을 도출
- 기준매질의 Q값은 보통 매우 큰 값이므로 기준매질의  $\gamma_r$ 은 0에 가까운 값으로 무시해도 무방
- 선형회귀분석을 통해 도출된 기울기 값에 으로부터 비교매질의  $\gamma_s$  도출
- Eq.4로 부터 비교매질의 Q값 도출

### 2. 최적선형구간 선정 알고리즘



[Fig.2 최적선형구간 선정 알고리즘 변수의 원리]

- 주파수구간을 이동하는 윈도우를 설정한 후 윈도우가 이동하면서 선형회귀분석을 실시하고 결정계수( $R^2$ )를 통해 선형성을 평가하여 최적의 주파수구간을 선정

#### Algorithm parameter for selection of optimal linear range

- Initial window (a)
- Window increment (b)

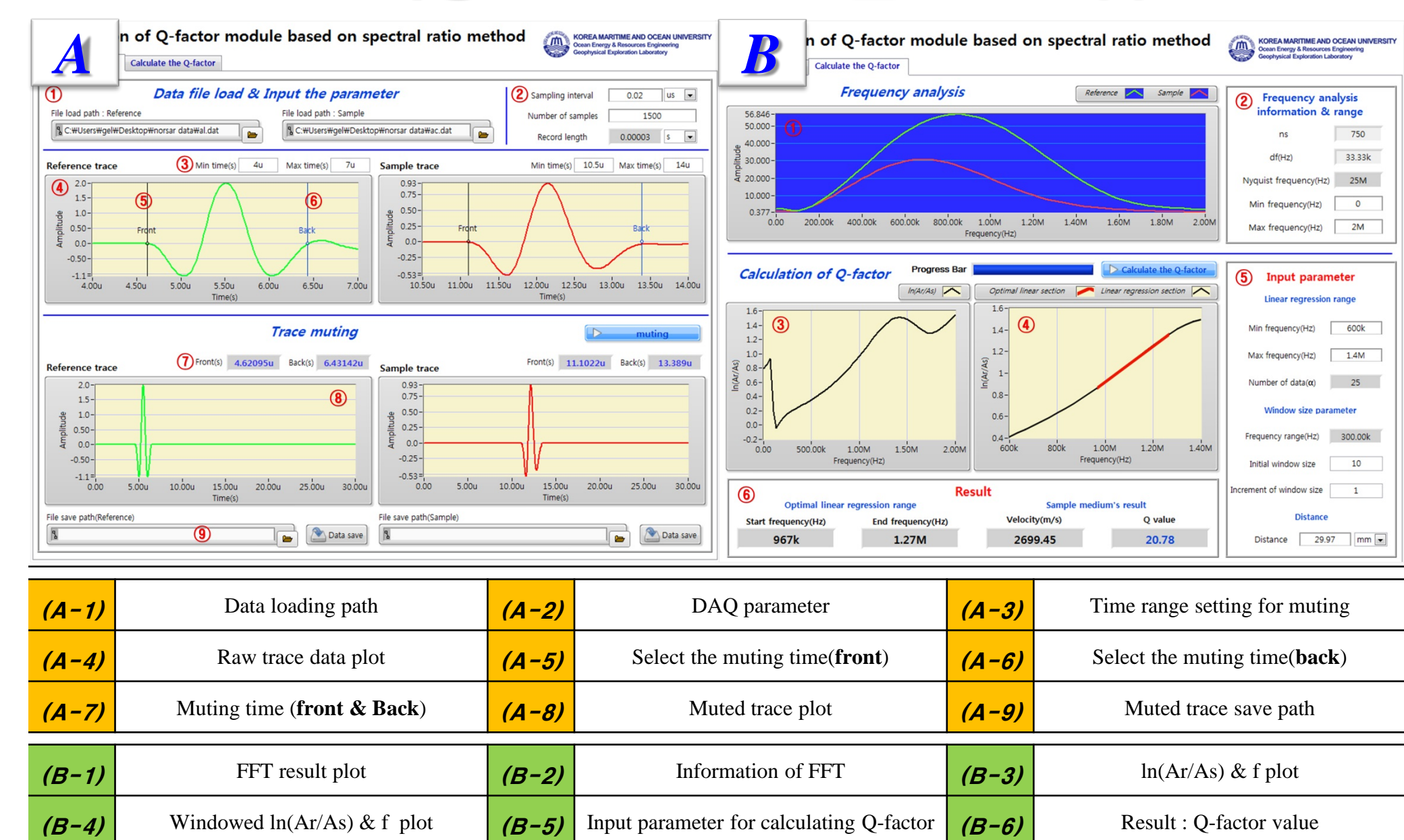
알고리즘 변수인 초기 윈도우(initial window)와 윈도우 증분(Window increment)은 n-1개의 샘플간격(df)을 의미

$$w.s = \sum_{k=1}^n a + (k-1)b : K\text{번째의 윈도우 크기}(w.s)$$

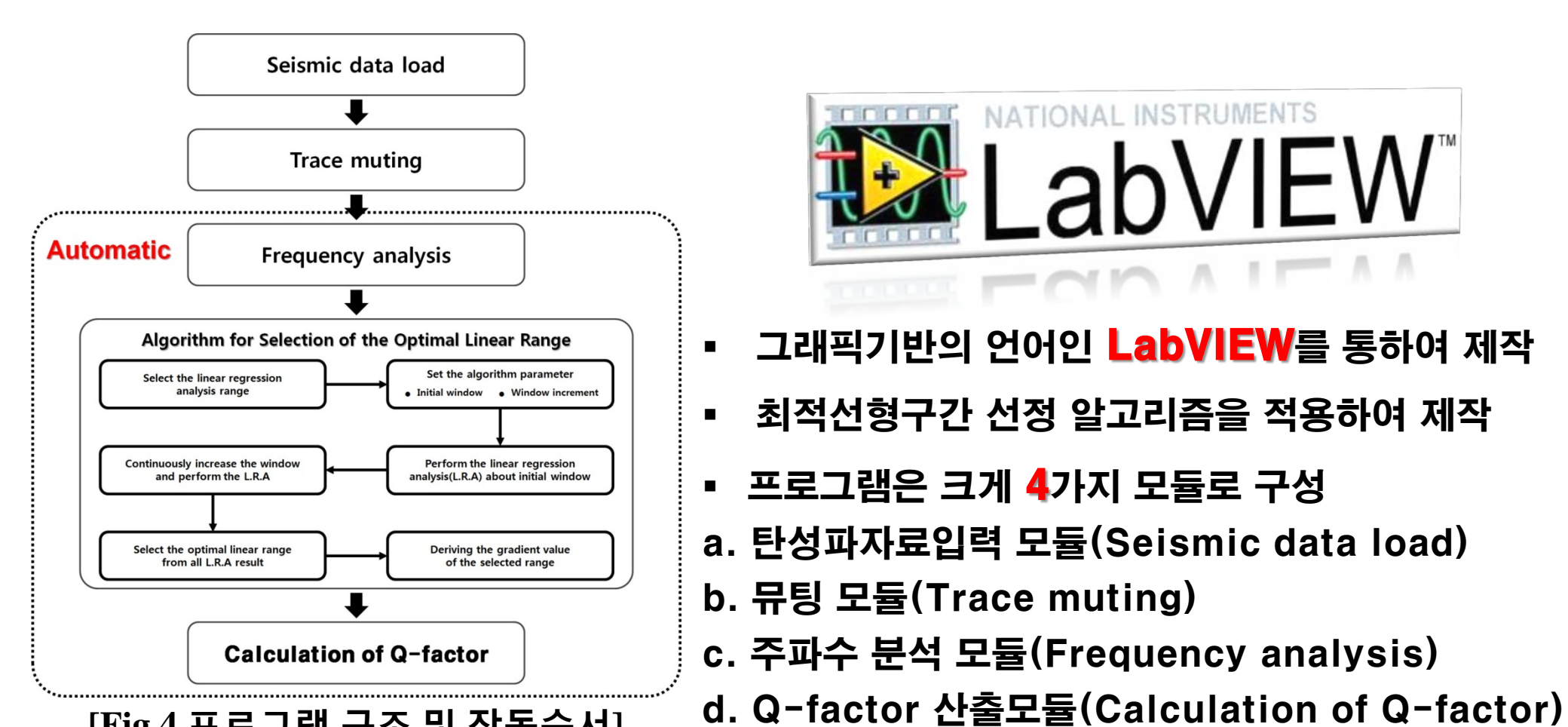
$$f.r = (w.s - 1) \times df : \text{윈도우 크기가 의미하는 주파수 범위}(f.r)$$

- 초기 윈도우부터 크기가 증분만큼 커져가면서 각 윈도우마다 반복적으로 선형회귀분석을 수행하여 기울기 값과 결정계수( $R^2$ )를 계산
- 윈도우 별로 수행된 모든 선형회귀분석 결과 중 **결정계수( $R^2$ )가 가장 높은 구간을 최적 선형구간**으로 선정하고 그때의 기울기 값을 이용하여 Q값 산출

### 3. 자동 Q-factor 산출 프로그램



[Fig.3 LabVIEW를 이용하여 제작한 자동 Q-factor산출 프로그램]



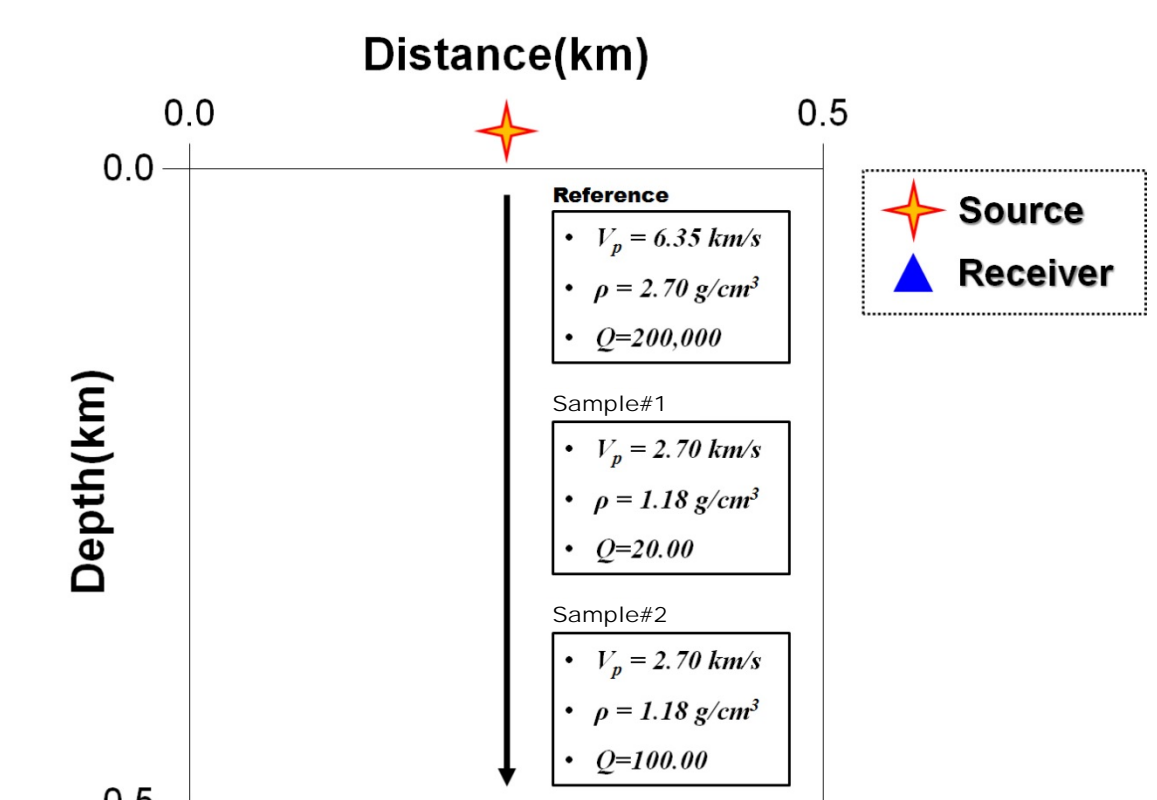
[Fig.4 프로그램 구조 및 작동순서]

### 4. 프로그램 검증

[수치모형실험 자료의 적용]

#### Method

- Norsar\_2D를 이용하여 Q-modeling 실시
- 탄성파 투과실험 환경 모사
- 비교매질의 Q값만 20, 100로 2가지 case로 설정
- 기준매질과 2가지 비교매질 자료를 이용하여 프로그램을 통해 도출된 Q값과 modeling 시 입력된 Q값 비교

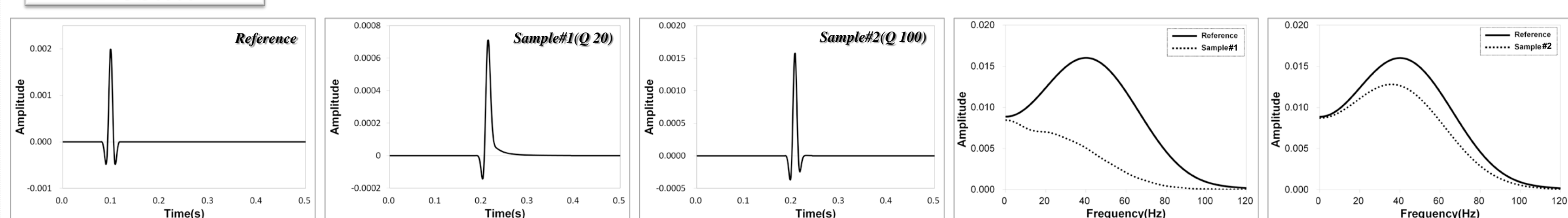


[Fig.5 수치모형실험 자료생성 환경]

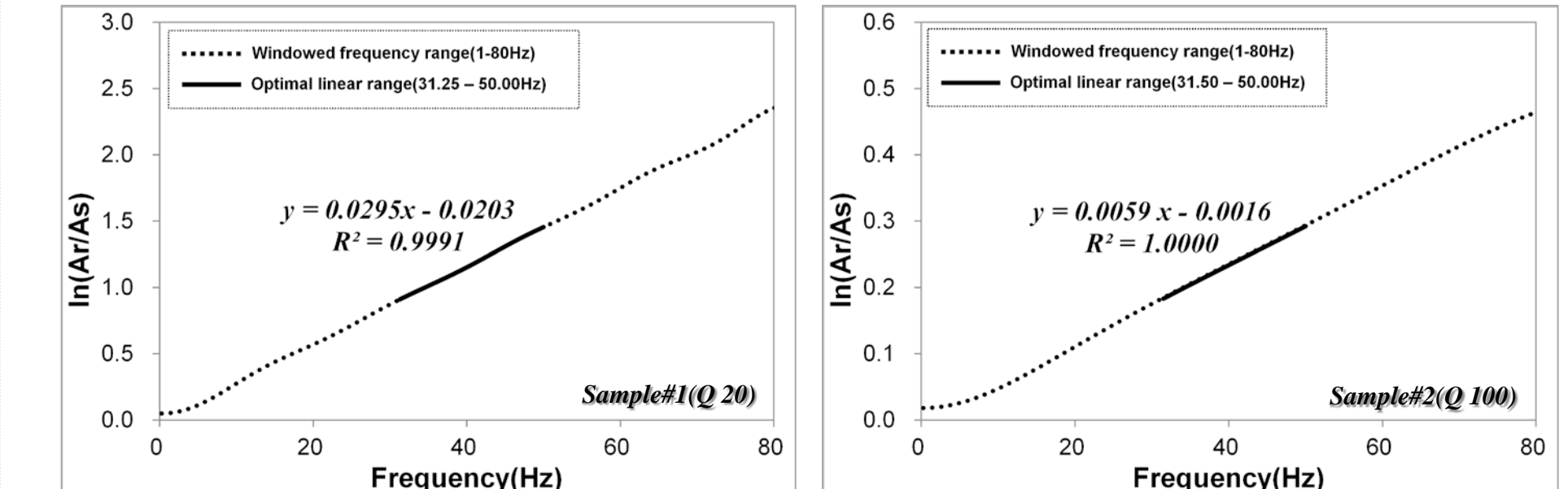
[Table.1 자료생성변수 : 수치모형실험]

	Reference	Sample#1	Sample#2
Source type	Ricker wavelet		
Source frequency(Hz)	40		
Number of samples	4,000		
Sampling interval( ms)	1.00		
Record length(s)	4.00		

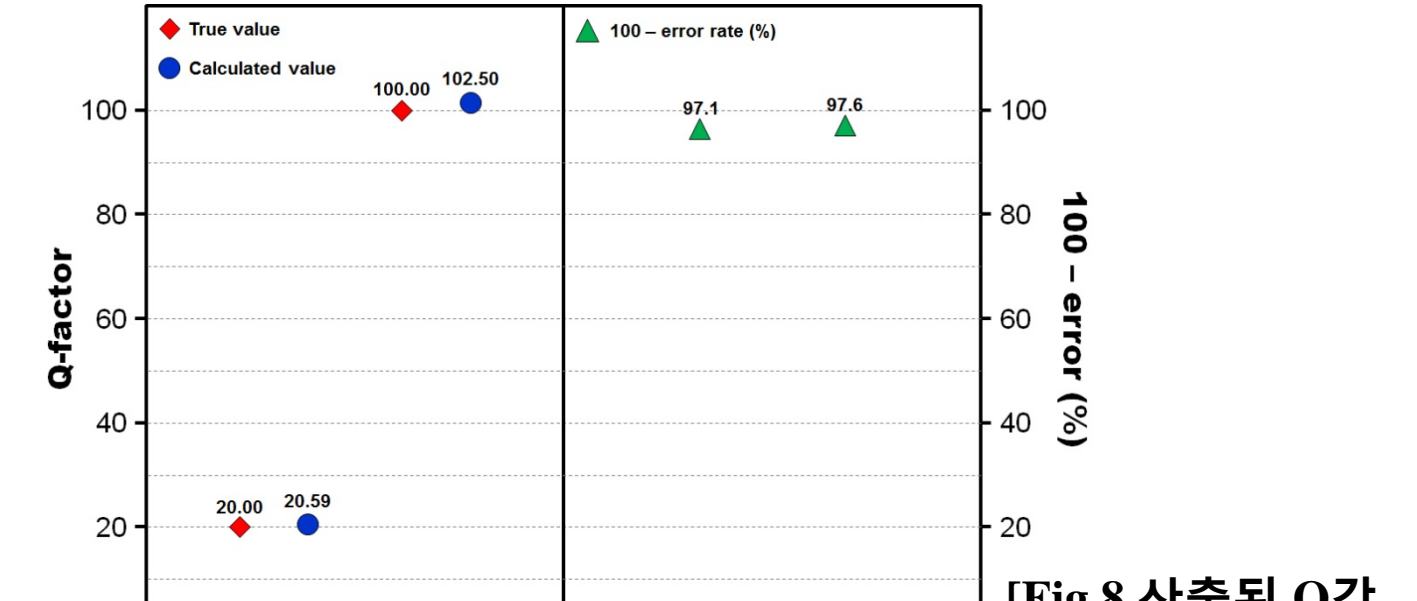
#### Result



[Fig.6 생성된 탄성파 자료 및 주파수 분석결과]



[Fig.7 알고리즘을 통해 선정된 최적선형구간]



[Fig.8 산출된 Q값 비교결과 및 오차율]

#### Method

- 30(mm) x 30(mm) x 30(mm)의 동일한 규격의 등방성 매질 Aluminum과 Acrylic 정육면체 시료를 이용
- Reference : Aluminum // Sample : Acrylic
- 탄성파 투과실험 진행
- 취득된 자료를 프로그램을 통해 Acrylic의 Q값을 산출하고 문헌상의 Acrylic의 Q값 20.00과 비교

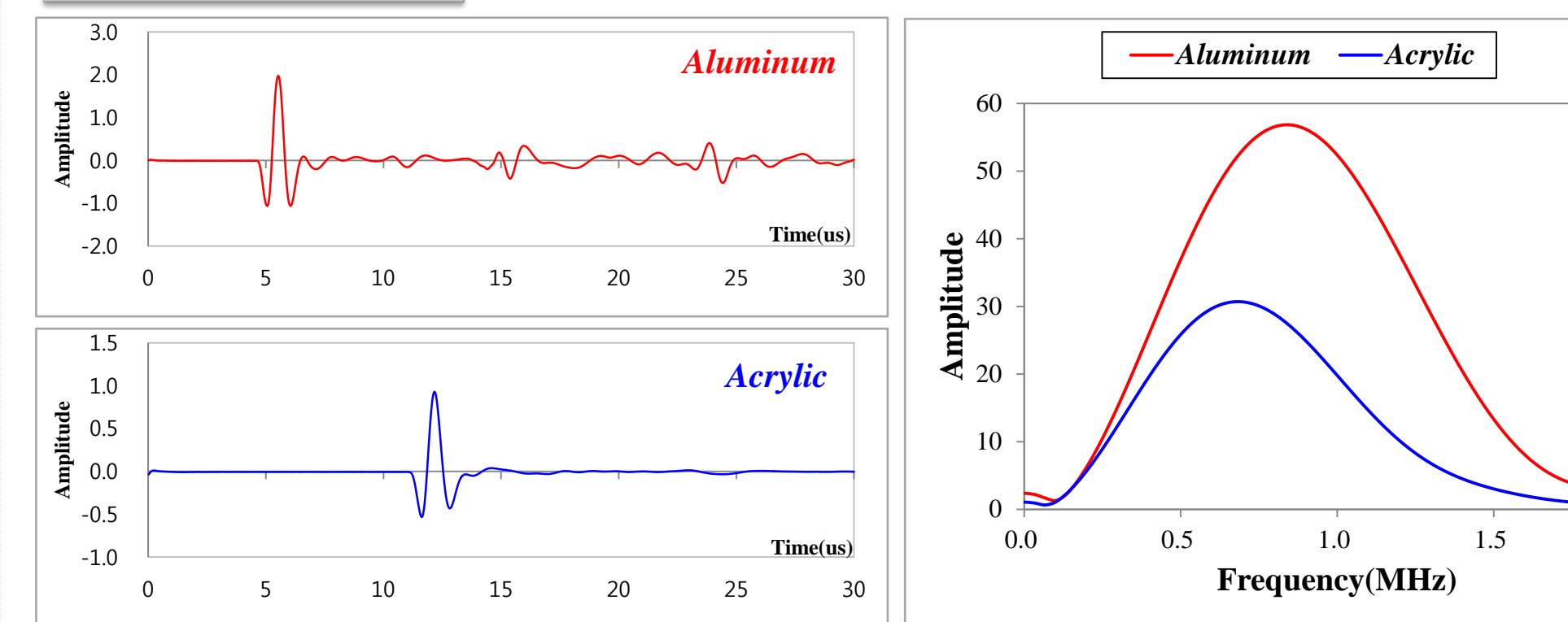


[Fig.9 탄성파축소모형실험 자료취득 환경]

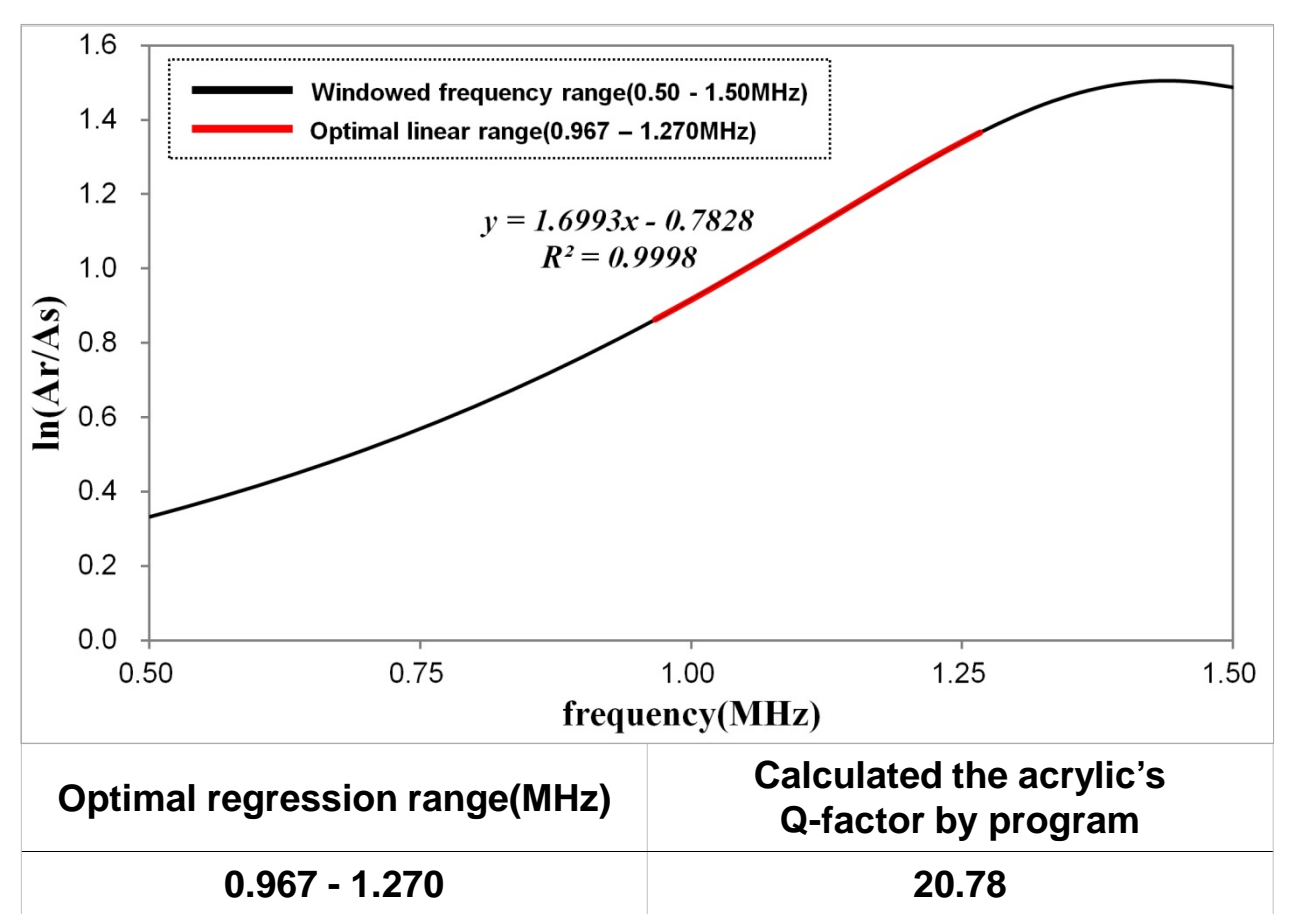
[Table.2 자료취득변수 : 탄성파 축소모형 실험]

Source frequency(MHz)	1.00
Number of samples	1500
Sampling interval(μs)	0.02
Record length(μs)	30.00
Repeat number	30
Load cell load(kgf)	25.00

#### Result



[Fig.10 취득한 탄성파 자료 및 주파수분석 결과]



[Fig.11 선정된 최적선형구간 및 산출된 아크릴 Q값]

## 결론

본 연구에서는 보다 정량적인이며 객관적인 Q값 산출을 위해 최적선형구간 선정 알고리즘을 제시하였으며 해당 알고리즘을 적용한 자동 Q-factor 산출프로그램을 제작하였다. 수치모형실험 자료를 통한 프로그램의 검증 결과, **각 case별로 산출되는 Q값은 3% 이하의 오차**를 보였으며 축소모형실험 자료를 이용한 검증결과 또한 이전 연구에서 제시했던 **아크릴의 Q값에 근접한 결과**를 보였다. 두 실험을 통해 제안한 알고리즘과 제작한 프로그램의 유효성과 타당성을 확인할 수 있었으며 본 연구를 통해 제안한 알고리즘과 프로그램은 향후 VSP 및 반사법 탐사자료에서의 정량적 Q값 산출과 이방성 매질의 Q-factor 특성연구를 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이라 사료된다.