

벡터 회로망 분석기의 시간 게이팅 불확도 분석

Uncertainty Analysis of Time Gating on Vector Network Analyzer

조치현 · 정우현 · 강태원 · 최홍은

Chihyun Cho · Woohyun Chung · Tae-Weon Kang · Hong Eun Choi

요 약

본 논문에서는 상용 벡터 회로망 분석기(VNA)의 시간 게이팅(time-gating) 프로세스 전반에서 발생하는 측정불확도를 체계적으로 분석하고 정량화하였다. 시간 게이팅은 불필요한 다중 반사 신호를 제거하여 측정 신뢰도를 높이는 데 널리 사용되지만, 게이팅 프로세스 자체가 유발하는 고유의 불확도에 대한 분석은 미비한 실정이다. 본 연구에서는 기존 연구들이 게이팅된 신호의 불확도 분석에만 집중했던 한계를 넘어, pre-gate 윈도우 적용, 카이저 윈도우의 파라미터 특성, VNA에서 제공하는 게이트 형상(shape) 및 폭(width)의 차이, 그리고 post-gate 정규화 과정에서 발생하는 오차들을 불확도 요인으로 분석하였다. 분석 결과, 가장 지배적인 영향을 미치는 요인은 측정자가 설정하는 게이트의 폭(gate width)으로 확인되었으며, 대역 양 끝단에서의 링잉(ringing) 효과를 억제하기 위해 요구 대역폭 이상의 광대역 측정이 필요함을 보였다. 제안한 분석 방법은 VNA의 시간 영역 게이팅을 사용한 산란계수 측정 시 불확도 산출에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

Abstract

This study analyzes and quantifies the measurement uncertainties associated with the time-gating process in commercial vector network analyzers (VNAs). Unlike previous studies that focus on the signal after time gating, our approach evaluates the time-gating process itself, including pre- and post-gating normalization, Kaiser window parameters, and window types. The analysis revealed that the gate width is the most significant factor contributing to uncertainty. The study demonstrates that measurements extending beyond the desired frequency band are necessary to mitigate ringing effects at the band edges. These findings establish a universal framework for calculating time-gating uncertainty applicable to all commercial VNA systems.

Key words: Vector Network Analyzer (VNA), Time-Gating, Measurement Uncertainty, Kaiser Window, Post-Gate Normalization

1. 서 론

현대 마이크로파 및 밀리미터파 측정 기술에서 벡터 회로망 분석기(VNA, vector network analyzer)는 필수적인 장비로 자리 잡고 있다. 특히 VNA의 시간 영역(time-

domain) 분석 기능 중 하나인 시간 게이팅(time-gating) 기법은 측정 대상물의 고유한 응답만을 추출하기 위해 광범위하게 활용되고 있다. 시간 게이팅은 역푸리에 변환(IFFT, inverse fast Fourier transform)을 통해 주파수 영역의 데이터를 시간 영역으로 변환한 뒤, 불필요한 다중 반

「이 논문은 2023년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(21-307-A00-013, 한국형 BFT 통신위성 대형 안테나 기술).」

한국표준과학연구원 전자파측정그룹(Electromagnetic Wave Metrology Group, Korea Research Institute of Standards and Science)

· Manuscript received April 21, 2026 ; Revised April 29, 2026 ; Accepted May 14, 2026. (ID No. 20260421-038)

· Corresponding Author: Woohyun Chung (e-mail: wohychung@kriss.re.kr)

사 성분이나 노이즈를 시간 필터링을 통해 제거하고 다시 주파수 영역으로 복원하는 방식이다.

이러한 기법은 다양한 정밀 측정 분야에서 그 유용성이 입증되었다. 대표적으로 안테나 측정 분야에서는 반사 신호가 존재하는 환경에서 자유 공간 조건을 모사하여 안테나 이득을 정확히 산출하는 데 사용된다^[1]. 또한, 물질 상수 측정에서도 시편과 입사 포트 간의 불연속점에서 발생하는 원치 않는 반사 신호를 효과적으로 분리함으로써 재료의 유전율 및 투과율 측정 정밀도를 향상시키는 데 사용된다^[2].

그러나 시간 게이팅 기법의 광범위한 활용성에도 불구하고, 게이팅 프로세스 자체가 측정 결과에 미치는 불확도에 대한 체계적인 연구는 여전히 부족한 실정이다. 최근 참고문헌 [3]은 오픈 소스 파이썬 패키지를 활용하여 시간 게이팅이 적용된 측정값의 효율적인 불확도 평가법을 제시하였다. 해당 연구는 게이팅 이후의 신호들에 대한 불확도를 수치적으로 계산하는 데 기여하였으나, 게이팅 과정에서 필수적으로 수반되는 윈도우 함수의 영향, 게이트 형상의 선택, 그리고 측정자가 설정하는 게이트 시간 폭 등에 의해 발생하는 불확도 성분들을 직접적으로 정량화하지 않았다는 한계를 지닌다.

따라서 본 연구에서는 상용 VNA 시스템에서 수행되는 시간 게이팅의 각 프로세스별로 발생하는 불확도 요인을 정의하고 이를 정량적으로 산출하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 VNA의 시간 영역 데이터 처리 프로세스를 이론적으로 고찰한다. III장에서는 pre-gate 윈도우, 카이저 윈도우 함수, 게이트 형상 및 시간 설정, 그리고 post-gate 정규화 등 각 단계에서 발생하는 개별 불확도 요인을 분석하고 계산한다. IV장에서는 이러한 개별 불확도 요인들을 합성하여 최종 불확도를 산출하고, 시간 게이팅의 신뢰성을 확보하기 위한 광대역 측정의 필요성을 논의하며 결론을 맺는다.

II. VNA의 시간 게이팅 동작원리

그림 1은 본 연구에 사용된 상용 VNA(Keysight Technologies 사의 PNA)의 시간 게이팅 프로세스를 나타낸다^[4]. 우선 주파수 영역에서 측정된 결과인 $data(f)$ 를 시간 영역

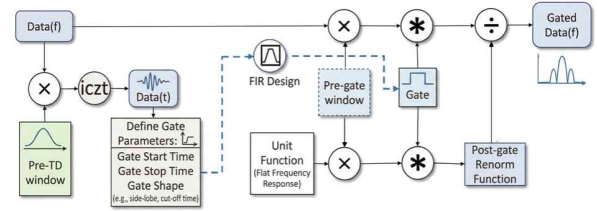


그림 1. VNA의 시간 게이팅 프로세스

Fig. 1. Time gating process of VNA.

으로 변환한다. 이때 일반적인 역고속 푸리에 변환(IFFT) 대신 역처프-Z 변환(ICZT, inverse chirp-Z transform)을 수행한다. 등간격의 시간 범위를 생성하는 IFFT와 달리, ICZT는 원하는 특정 시간 범위만을 선택적으로 변환할 수 있어 효율적이기 때문이다.

시간 영역 변환 전, $data(f)$ 에는 Pre-TD 윈도우가 적용된다. VNA로 측정된 주파수 데이터는 특정 대역폭을 갖는 통과대역(pass-band) 신호이며, 대역 외 신호는 모두 0으로 간주된다. 따라서 주파수 영역에서의 직사각형 응답을 그대로 변환할 경우 시간 영역에서는 Sinc 함수 형태의 링잉(ringing) 현상이 발생한다. 통상 이를 억제하기 위해 주파수 양 끝단의 신호를 감쇠시키는 윈도우 함수를 적용하며, Keysight Technologies 사의 PNA의 경우는 $\beta=6$ 인 카이저(Kaiser) 윈도우를 사용한다.

시간 영역으로 변환된 $data(t)$ 를 기반으로 게이팅 영역과 형상을 설정한다. 표 1은 PNA의 게이트 형상에 따른 주요 특성을 정리한 것이며, 그림 2는 게이트 함수의 형태를 보여준다^[5]. 일반적으로 게이트의 시작점과 종료점은 통과 대역 대비 -6 dB 지점을 기준으로 설정하며, 통과 대역 내에는 허용 리플이 존재한다. 또한, 차단 시간

표 1. VNA의 게이트 형상별 시간 게이팅 특성

Table 1. Time gating characteristics according to gate shapes in VNA.

Gate shape	Pass-band ripple (dB)	Sidelobe levels (dB)	Cutoff time
Minimum	± 0.1	-48	1.4/freq span
Normal	± 0.1	-68	2.8/freq span
Wide	± 0.1	-57	4.4/freq span
Maximum	± 0.01	-70	12.7/freq span

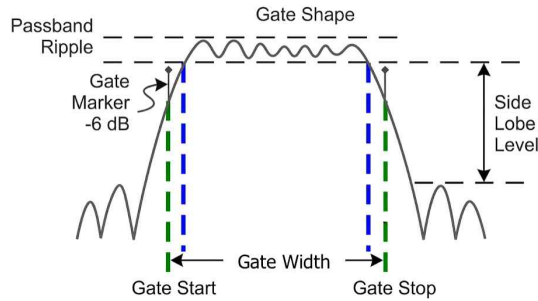


그림 2. VNA에서 제공되는 카이저 윈도우의 파라미터 설정
Fig. 2. Kaiser window parameter settings provided in VNA.

(cutoff time)은 -6 dB 지점부터 첫 번째 부엽(sidelobe) 최대값까지의 시간을 의미한다.

시간 영역에서 필터가 결정되면, 이를 다시 주파수 영역의 필터로 변환하여 컨벌루션(convolution)을 수행한다. 이는 시간 영역에서 직접 연산하는 것보다 주파수 영역에서의 구현이 더 용이하기 때문이다. 이때 시간 영역 변환 시와 마찬가지로 링잉 억제에 위해 **pre-gate** 윈도우를 적용한다. PNA의 경우, **pre-TD**와 동일한 윈도우를 사용한다.

마지막으로, 컨벌루션 과정 중 필터가 주파수 대역의 양 끝단에 위치할 경우, 측정 데이터가 존재하지 않는 영역이 0으로 처리되어 약 6 dB의 크기 손실이 발생한다. 이를 방지하기 위해 **post-gate** 정규화 함수를 적용한다. 이는 단위 응답(unit response, 모든 값이 1인 신호)에 게이트 필터를 컨벌루션하여 발생하는 오차를 미리 산출한 뒤, 앞서 계산된 결과 값에 이를 나누어 정규화하는 과정이다^[6].

R&S VNA의 경우, **pre-gate** 윈도우를 사용하지 않으며, 게이트 함수로 **rectangular**, **hamming**, **hann**, **bohman** 윈도우를 사용하며, 동일한 **post-gate**를 사용한다^[4].

이와 같이 시간 게이팅은 주파수 영역과 시간 영역을 넘나드는 복합적인 과정을 거친다. 이 과정에서 적용되는 각 윈도우 함수의 특성, 정규화 방식 등 각 개별 프로세스는 결과값에 영향을 미치는 주요한 불확도 발생 요인이 된다.

Ⅲ. 프로세스별 시간 게이팅 불확도 분석

앞서 살펴본 바와 같이 시간 게이팅의 각 프로세스 단계

별로 불확도가 발생되므로, 본 절에서는 이를 정량적으로 분석한다. 불확도 분석에 사용된 측정값은 물질상수측정키트(MCK, material characterization kit)를 이용해 측정한 평판 유전체의 산란계수이며, TRL 교정을 이용해 보정되었다^[7].

3-1 Pre-Gate 윈도우

측정된 산란계수의 링잉 효과를 억제하기 위해 적용된 윈도우 함수의 영향을 분석하였다. 분석을 위해 **pre-gate** 적용 전후의 측정값을 비교하였으며, 그 결과는 그림 3의 크기 및 위상 그래프와 같다. 위상 그래프는 비교가 용이하도록 **pre-gate** 적용 결과를 기준으로 정규화하여 나타내었다.

TRL 측정 결과에서 높은 수준의 노이즈는 시간 게이팅을 거치며 크게 감소하였으며, **pre-gate** 미적용 시 대역 양 끝단에서 발생하는 링잉 효과를 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 **pre-gate** 적용 전후의 측정값 차이를 해당 프로세스의 측정불확도로 적용하였다.

3-2 카이저 윈도우

VNA에서 시간 게이팅 시 주로 사용되는 카이저 윈도우는 이상적인 **brick-wall** 윈도우 적용 시 발생하는 링잉 효과를 억제하기 위해 채택된 함수이다. 해당 윈도우는

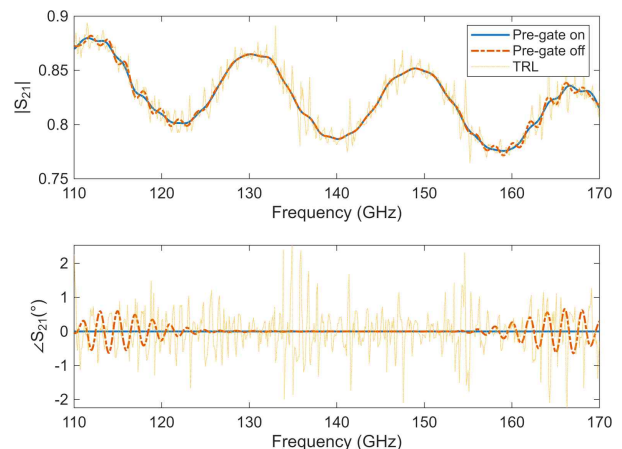


그림 3. Pre-gate 적용 유무에 따른 산란 계수 측정 결과 비교

Fig. 3. Comparison of measured scattering coefficients with and without pre-gate.

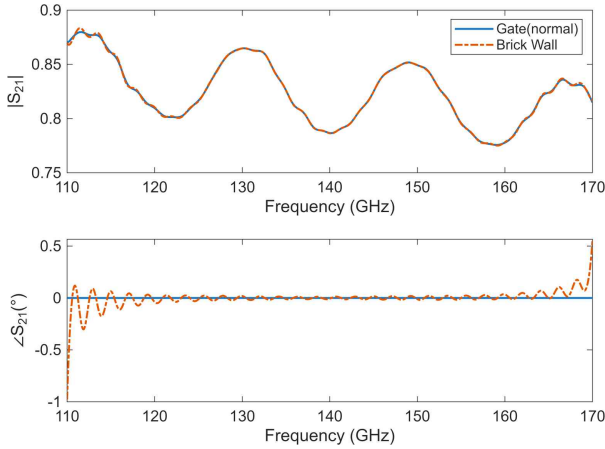


그림 4. 이상적인 brick-wall 윈도우와 카이저 윈도우의 응답 차이 분석

Fig. 4. Analysis of response deviation between an ideal brick-wall window and a Kaiser window.

표 1과 같이 설계된 사이드로브 레벨과 통과대역 리플, 차단 시간 특성을 가지며, 이는 측정 결과에 일정한 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 VNA 내부 프로세스에서 발생하는 불확도를 정량화하기 위해, 그림 4와 같이 이상적인 필터인 brick-wall 윈도우와 VNA에 적용된 카이저 윈도우 간의 응답 차이를 산출하였다. 이 계산된 편차를 카이저 윈도우에 의한 측정불확도로 산정하여 반영하였다.

3-3 게이트 형태

Keysight Technologies 사의 PNA는 측정 목적에 따라 적용되는 게이트의 형태를 표 1과 같이 네 가지 유형으로 구분하여 제공한다. 각 게이트 형태는 고유한 통과대역 특성을 지니므로, 선택한 게이트의 종류에 따라 측정 결과에 변동성이 발생할 수 있다.

이러한 게이트 형태에 기인한 불확도를 산출하기 위해, 모든 게이트 유형을 각각 적용하여 측정 결과를 계산하고 그 비교치를 그림 5에 나타내었다. 분석 결과, 게이트 형상별로 측정 응답에서 미세한 차이가 발생하는 것을 확인하였으며, 본 연구에서는 이러한 응답 간의 최대 편차를 게이트 형상에 따른 측정불확도로 정의하여 반영하였다.

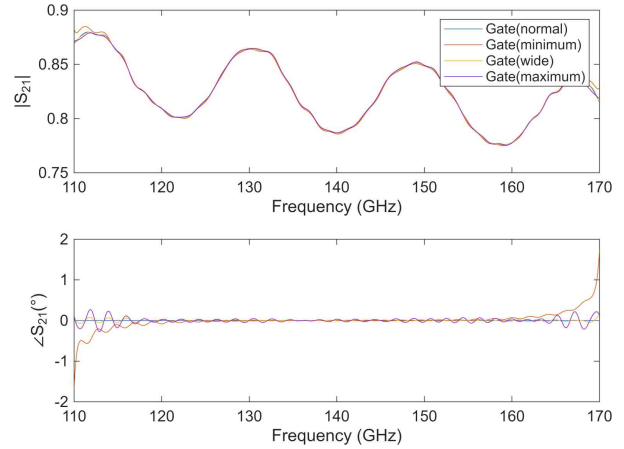


그림 5. 게이트 형상 유형에 따른 측정 결과의 편차

Fig. 5. Deviations in measurement results according to gate shape types.

3-4 게이트 폭

시간 게이팅 과정에서 가장 핵심적인 변수는 게이트 폭의 설정이며, 이는 측정자의 판단에 의존하는 경향이 크기 때문에 측정 결과의 가변성을 초래하는 주요 요인이 된다. 본 연구에서는 게이트 폭 설정 범위에 따른 민감도를 정량화하기 위해, 시간 설정을 가변하며 측정값의 변화를 관측하는 방식으로 불확도를 산출하였다. 기본 게이트 폭의 범위를 1 ns (-0.5 ~ 0.5 ns)로 설정한 후, 분석을 위해 이를 0.6 ns에서 1.6 ns까지 단계적으로 변화시켰다. 그림 6은 게이트 폭 변화에 따른 측정 결과를 나타내며, 해당 불확도는 다른 불확도 항목들에 비해 상대적으로 높은 기여도를 보임을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 시간 설정 변화에 따른 응답의 편차를 게이트 폭 불확도로 반영하였다.

3-5 Post-Gate 정규화

마지막으로 post-gate 정규화 과정에서 발생하는 불확도를 산출하였다. Post-gate는 컨벌루션 연산 시 대역 양 끝단에서 발생하는 6 dB 감쇄를 보상하기 위해 단위 응답 특성을 이용하는 과정이다. 따라서 측정 데이터가 전 주파수 대역에서 평탄하지 않을 경우, post-gate 적용 과정에서 오차가 발생할 수 있다. 이를 방지하는 가장 일반적

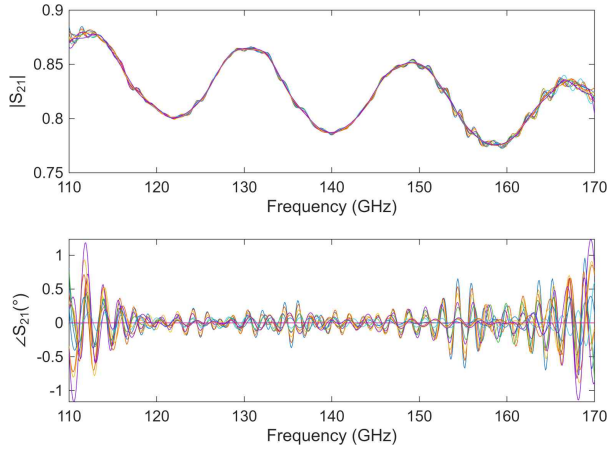


그림 6. 게이트 폭(width) 변화에 따른 측정 응답의 가변성 분석

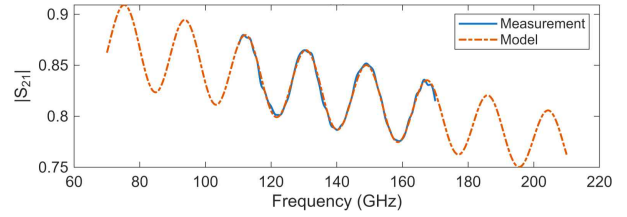
Fig. 6. Variability analysis of measurement responses according to changes in gate width.

인 방법은 필요 대역보다 넓은 주파수 범위를 측정하여 감쇄 구간을 대역 외로 이동시키는 것이나, 본 연구와 같이 도파관을 사용하는 대역 제한 환경에서는 적용에 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 대역 외 특성을 모델링하여 확장하는 방식을 채택하였다^[8]. 일반적으로 사용되는 벡터 피팅(vector fitting) 기법은 본 측정값과 같이 변동이 심한 응답에는 적용이 어려우므로, 본 연구에서는 다음과 같은 식 (1)을 도입하여 모델링을 수행하였다.

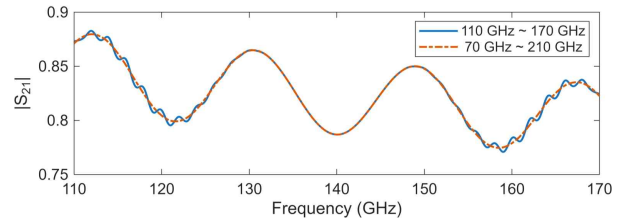
$$y(f) = (a_1 f + a_2) \cos(a_3 2\pi f + a_4) + a_5 f + a_6 \quad (1)$$

여기서 a_1 과 a_2 는 주파수에 따른 크기 감쇄량을, a_3 과 a_4 는 응답의 주기와 위상을 결정하며, a_5 와 a_6 은 전체적인 기울기와 상수항을 나타낸다. 그림 7(a)에서 확인되듯이, 제안된 식은 측정 데이터와 잘 일치하며 대역 외에서도 벡터 피팅과 달리 주파수에 따른 변동특성을 효과적으로 모사하고 있다. 다만, 본 수학적 모델은 주파수에 따라 응답이 변동하고 감쇄가 비교적 작게 발생하는 경우에 최적화되어 있어, 다양한 응답 특성을 일반화하여 모델링하기에는 한계가 있다.

Post-gate 정규화의 유효성을 검증하기 위해, 원래의 측정 대역(110~170 GHz)에서 수행한 시간 게이팅 결과와 측정 구간을 70~210 GHz로 확장하여 감쇄 효과를 대역 외로 천이시킨 결과를 비교 분석하였다. 그림 7(b)에 제시



(a) 측정 데이터와 제안된 수식 모델링 결과 비교
(a) Comparison between measured data and proposed mathematical modeling



(b) 대역 확장을 통한 post-gate 정규화 효과 분석
(b) Analysis of post-gate normalization effects using bandwidth expansion

그림 7. Post-gate 정규화에 의한 불확도 분석

Fig. 7. Analysis of post-gate normalization effects.

된 두 결과 사이의 편차를 post-gate 정규화에 따른 측정 불확도로 산출하였다.

또한 S_{11} 의 측정결과에 대해서도 동일한 시간 게이팅 프로세스별 불확도 분석을 수행하였으며, 그 결과 S_{21} 과 유사한 불확도 특성이 나타남을 확인하였다.

IV. 시간 게이팅 측정의 합성불확도

그림 8은 앞서 분석한 각 프로세스별 측정불확도 기여도를 나타낸다. 본 연구의 분석을 통해 게이트 폭이 가장 지배적인 불확도 요인임을 확인하였다. 이는 게이트 폭의 설정이 필터의 차단 특성과 직결되며, 제거하고자 하는 불요 신호가 원하는 신호와 인접할수록 게이트 폭 설정에 따른 오차가 민감하게 발생하기 때문이다. 따라서 실제 측정 시 게이트 폭 최적화를 위해서는 시간 영역 응답에서 주 신호의 메인 로브(main-lobe)가 충분히 포함되도록 폭을 설정하되, 게이트의 끝단이 인접한 불요 신호의 시작점과 최소한 필터의 차단 시간 이상의 간격을 유지해야 한다. 만약 신호 간 거리가 충분치 않아 게이트 폭을

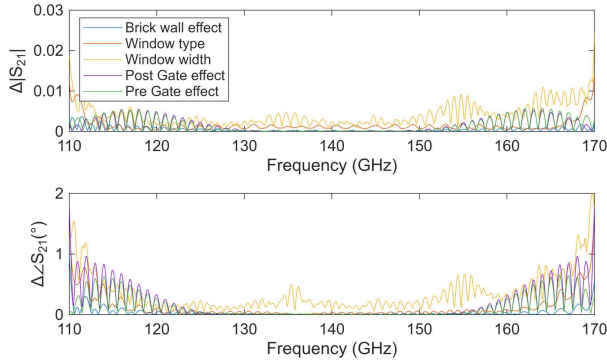


그림 8. 시간 게이팅 프로세스별 개별 불확도 기여도
Fig. 8. Individual uncertainty contributions for each time gating process.

좁게 설정해야 하는 경우에는, 본 논문에서 분석된 바와 같이 불확도가 증가할 수 있음을 고려하여야 한다. 또한, **post-gate** 불확도의 경우 분석 대역을 실제 요구되는 범위 보다 넓게 설정하여 측정함으로써 상당 부분 억제할 수 있다는 점에 주목해야 한다.

그림 9는 개별 불확도 요인들을 결합한 불확도($k=2$, 95 % 신뢰의 수준)를 보여준다. 본 결과는 단순히 시간 게이팅을 통해 불요 신호를 제거하는 것에 그치지 않고, 게이팅 프로세스들의 측정불확도를 산출해야 함을 시사한다. 특히 주파수 대역의 양 끝단에서는 **post-gate** 불확도와 다양

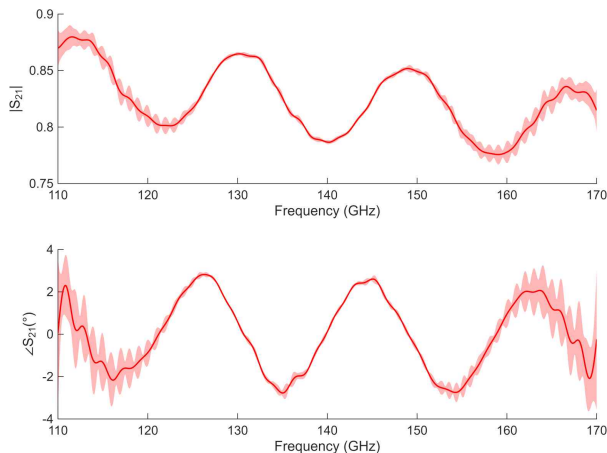


그림 9. 시간 게이팅에 의한 프로세스별 측정불확도 합성 결과
Fig. 9. Combined uncertainty results for each process by time gating.

한 링잉 효과가 중첩되어 불확도가 급격히 증가하는 경향을 보인다. 따라서 시간 게이팅에 의한 불확도를 효과적으로 저감하기 위해서는 요구 대역폭 이상의 광대역 측정이 필요하다.

V. 결 론

본 연구에서는 상용 VNA의 시간 게이팅 프로세스에서 발생하는 단계별 측정불확도를 정량적으로 분석하였다. 분석 결과, 전체 불확도에 가장 지배적인 영향을 미치는 요인은 게이트 폭 설정으로 확인되었으며, 이는 측정 결과의 신뢰성 확보를 위해 측정자의 세밀한 분석과 주의 깊은 설정이 중요함을 시사한다.

또한, 시간 게이팅을 구성하는 각 프로세스들의 불확도 성분들을 규명하였으며, 이를 측정불확도 평가에 포함해야 함을 보였다. 특히, 시간 게이팅에 의한 불확도를 최소화하기 위해서는 실제 요구되는 대역폭 이상의 광대역 데이터를 취득하는 것이 유효한 방안을 확인하였다.

본 연구에서 제안한 시간 게이팅 불확도 분석법의 범용성을 검증하고자, R&S 사의 VNA의 알고리즘을 추가로 분석하였다. 각 제조사마다 **pre-gate** 처리 유무나 지원하는 윈도우 함수의 종류 등 세부 구현 방식에서 차이가 존재함을 확인하였으나, 이러한 장비 고유의 특성을 모델에 적절히 반영함으로써 시간 게이팅의 불확도를 산출할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] R. V. De Jough, M. Hajian, and L. P. Ligthart, "Antenna time-domain measurement techniques," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 39, no. 5, pp. 7-11, Oct. 1997.
- [2] X. Liu, L. Gan, and B. Yang, "Millimeter-wave free-space dielectric characterization," *Measurement*, vol. 179, p. 109472, Jul. 2021.
- [3] M. Gruber, J. Skinner, S. Eichstadt, R. Appleby, and N. M. Ridler, "Enabling efficient uncertainty evaluation of time-gating implemented in an open-source python package," *Measurement: Sensors*, vol. 38, p. 101738, May 2025.
- [4] Z. Chen, Z. Xiong, "Differences of time domain gating

implementations in vector network analyzers," in *2019 Joint International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Sapporo and Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility(EMC Sapporo/APEMC)*, Sapporo, Jun. 2019, pp. 597-600.

- [5] Keysight Technologies, *Keysight PNA User's Guide*, Santa Rosa, CA, Keysight Technologies, 2026.
- [6] J. Dunsmore, "Gating effects in time domain transforms," in *2008 72nd ARFTG Microwave Measurement Symposium*, Portland, OR, Dec. 2008, pp. 1-8.

- [7] T. W. Kang, H. Koo, C. Cho, and J. Y. Kwon, "Measurement of complex permittivity in D-band using a material characterization kit," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 34, no. 1, pp. 41-48, Jan. 2023.
- [8] Z. Chen, "An adaptable time domain gating implementation with enhanced edge treatment for facilitating vector frequency domain data analyses," in *2024 102nd ARFTG Microwave Measurement Conference(ARFTG)*, San Antonio, TX, Jan. 2024.

조 치 현 [한국표준과학연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-2506-576X>



2004년: 홍익대학교 전자공학과 (공학사)
2006년: 홍익대학교 전자공학과 (공학석사)
2009년: 홍익대학교 전자공학과 (공학박사)
2009년~2012년: 삼성탈레스 전문연구원
2016년~2017년: 국가과학기술자문회의 정책연구원
2017년: 미국 국립표준기술연구소(NIST)

객원연구원

2012년~현재: 한국표준과학연구원 전자파측정그룹 책임연구원
[주 관심분야] RF Waveform · 디지털 통신신호 · 전자파 측정 표준, 초고주파 회로 및 안테나 설계 등

강 태 원 [한국표준과학연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7457-6585>



1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
2001년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
2002년 3월~2003년 3월: 노팅엄대학교 조지그린전자파 연구소 객원연구원

1990년 2월~현재: 한국표준과학연구원 전자파측정그룹 책임연구원

[주 관심분야] 전자파 측정표준(잡음, 전력, RF전압, 임피던스, 물질상수), EMC 측정표준

정 우 현 [한국표준과학연구원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-1541-0745>



2012년: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학사)
2020년: 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)
2020년~2022년: 한국과학기술원 정보전자연구소 연구연수원
2025년: 미국 국립표준기술연구소(NIST) 객원연구원

2022년 10월~현재: 한국표준과학연구원 전자파측정그룹 선임연구원
[주 관심분야] 전자파 감쇠량 측정표준, 파형 측정표준 등

최 홍 은 [한국표준과학연구원/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0009-3970-2935>



2018년: 울산과학기술원 물리학과 (이학사)
2024년: 울산과학기술원 물리학과 (이학박사)
2024년~현재: 한국표준과학연구원 전자파측정그룹 선임연구원
[주 관심분야] 전자파 측정표준(잡음, 임피던스)