

# 커플링 라인 구조 변형을 이용한 저손실 소형 음의 군 지연 회로 설계

윤원상\*<sup>1</sup>, 최윤주\*<sup>2</sup>, 임종식\*\*<sup>3</sup>, 한상민\*\*\*<sup>4</sup>

## A Design of a Compact Low-Loss Negative Group Delay Circuit using Modified Coupling Line Structure

Won-Sang Yoon\*<sup>1</sup>, Yoon-ju Choi\*<sup>2</sup>, Jongsik Lim\*\*<sup>3</sup>, and Sang-Min Han\*\*\*<sup>4</sup>

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기술평가원(KEIT)의 연구비 지원에 의한 연구임  
(RS-2024-00420395)

### 요약

본 논문에서는 음의 군 지연 회로(NGDC, Negative Group Delay Circuit) 소형화 방안을 제안하였다. 제안된 NGDC는 마이크로스트립 전송선과 커플링 라인을 이용하여 음의 군 지연을 발생시켜 구조가 간단하며, NGDC의 마이크로스트립 선로에 별도의 집중 정수 소자가 적용되지 않으므로 낮은 삽입 손실을 얻을 수 있다. 제안된 NGDC의 동작 주파수는 커플링 라인 간에 발생하는 커패시턴스에 의해 결정되며, 커플링 라인의 길이를 조정함으로써 커패시턴스 및 음의 군 지연 발생 주파수를 변경할 수 있다. 제안된 구조에 대해 시뮬레이션 및 prototype 제작을 통해 음의 군 지연 발생 주파수 변화 및 회로 소형화 특성을 확인하였으며, 실험 결과를 통해 2.4GHz 대역에서 동작하는 음의 군 지연 회로의 크기가 10.2% 소형화되는 것을 확인하였다.

### Abstract

This paper proposes a miniaturization technique for Negative Group Delay Circuits (NGDCs). The proposed NGDC utilizes microstrip transmission lines and coupled lines to generate a Negative Group Delay (NGD). This configuration offers a simplified structure and achieves low insertion loss by eliminating the need for additional lumped elements on the microstrip lines. The operating frequency of the proposed NGDC is determined by the mutual capacitance between the coupled lines; thus, both the capacitance and the NGD center frequency can be tuned by adjusting the physical length of the coupled lines. The NGD frequency shift and miniaturization characteristics were validated through Electromagnetic (EM) simulations and the fabrication of a prototype. Experimental results demonstrate that the size of the NGDC operating at 2.4 GHz is reduced by 10.2% compared to conventional designs.

### Keywords

negative group delay, NGD, negative group delay circuit, NGDC, passive negative group delay network, size reduction, low insertion loss

\* 호서대학교 전자공학과(\*<sup>1</sup> 교신저자)  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1125-384X>  
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5527-6671>  
\*\* 순천향대학교 전기공학과 교수  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8728-4979>  
\*\*\* 순천향대학교 정보통신공학과 교수  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7521-6661>

• Received: Mar. 10, 2026, Revised: Apr. 16, 2026, Accepted: Apr. 19, 2026  
• Corresponding Author: Won-Sang Yoon  
Dept. of Electronic Engineering, Hoseo University  
20, Hoseo-ro 79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do, Korea  
Tel.: +82-41-560-5661, Email: wsoon@hoseo.edu

## I. 서 론

최근 5G/6G 이동통신, WLAN, IoT 및 차량·인프라 연계 통신 환경에서는 광대역화 및 다중 서비스 수용과 함께, RF 프론트엔드에서의 위상/지연 특성 관리가 점차 중요해지고 있다. 특히 필터, 분배기, 증폭기 등으로 구성되는 RF 수동·능동 블록의 군 지연(GD, Group Delay) 특성은 시스템 레벨에서의 신호 왜곡, 파형 찌그러짐, 타이밍 정렬 오차를 유발할 수 있으므로, 특정 대역에서 군 지연을 보정하여 신호의 선형성을 개선하거나, 배열 안테나의 위상 제어의 정확도를 향상시키기 위한 설계가 요구된다.

한편, 초고주파 회로에서는 식 (1)에 나타낸 것과 같이 위상 응답의 변화율에 의해 군 지연이 결정되며, 위상 응답의 변화율이 양의 값으로 나타날 때 음의 군 지연(NGD, Negative Group Delay) 현상이 발생하게 된다.

$$\tau_g(\omega) = -\frac{\partial\phi(\omega)}{\partial\omega} = -\frac{\partial\angle S_{21}(\omega)}{\partial\omega} \quad (1)$$

NGD 현상은 Brillouin의 연구와 후속 연구들에 의해 공진 회로의 공진 주파수 근처에서 발생하는 것으로 확인되었으며[1]-[3], 이러한 NGD 현상을 이용하여 지연 보정, 위상/시간 정렬, 특성 평탄화 등의 응용 가능성에 대한 연구가 지속되어 왔다[4]-[6]. 음의 군 지연 회로(NGDC, Negative Group Delay Circuit)는 구현 방식에 따라 집중정수(Lumped-element) 기반, 분포정수(Distributed-element) 기반, 또는 능동회로 기반으로 분류될 수 있다. 이 중 분포정수 기반 NGDC는 마이크로스트립 전송선 및 커플링 라인 등 비교적 단순한 구조로 구현 가능하며, 특정 구현에서는 전송선 상에 별도의 집중정수 소자를 최소화하여 삽입 손실을 낮출 수 있다는 장점이 보고된 바 있다[7]-[9]. 그러나 기존 분포정수형 NGDC는 목표 동작 주파수에 맞추기 위해 선로 길이를 증가시키는 과정에서 회로 면적이 커지기 쉽고, 공정/기판 오차에 의해 공진 주파수가 변할 경우 보정이 제한적이며, 소형화를 위해 단순히 선로 길이를 축소할 경우 결합

정도 변화 및 손실 증가 등으로 NGD 특성 열화가 발생할 수 있다는 한계가 존재한다. 따라서 회로 면적을 줄이면서도 NGD 성능(군 지연 크기, 삽입 손실, 반사 손실)을 유지하고, 동시에 목표 주파수로의 설계 유연성을 확보하는 구조적 접근이 필요하다[10].

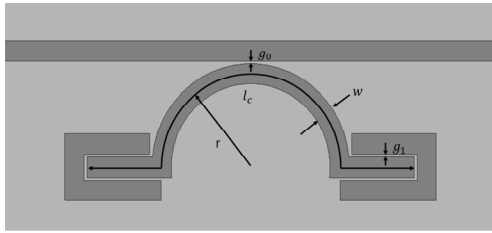
본 논문에서는 기존의 전송선형 NGDC 구조를 기반으로 커플링 라인의 형상을 변경하여 유효 결합을 제어함으로써 NGD 발생 주파수를 이동시키는 소형화 설계 방법을 제안하였다. 제안된 구조의 커플링 라인 길이에 따른 공진 주파수 및 NGD 특성 변화를 분석하고, 전자기장 시뮬레이션을 통해 기존 구조 대비 주파수 이동 및 소형화 효과를 정량적으로 제시하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 낮은 손실과 고정 주파수 특성을 갖는 NGDC의 설계 및 설계 파라미터 변화에 따른 주파수 가변 특성을 시뮬레이션 결과를 통해 제시하였다. III장에서는 NGDC의 커플링 선로 형상 변경에 따른 NGD 발생 주파수의 변화 및 소형화 효과에 대해 기술하고, 제안된 구조의 NGDC prototype 제작 및 측정 결과를 통해 회로 소형화 결과를 나타내었으며, V장에 결론을 제시하였다.

## II. 저손실 NGDC의 동작 주파수

기존의 낮은 삽입 손실을 갖는 전송선형 NGDC 구조와 그 등가회로를 그림 1에 나타내었다. 본 구조는 마이크로스트립 전송선과, 전송선으로부터  $g_0$  만큼 이격된 말발굽 형태의 커플링 라인으로 구성된 공진기 형태이다. 커플링 라인의 총 길이가 특정 주파수에서 유효 반 파장 조건( $\lambda_g/2$ )을 만족할 때 중심 주파수  $f_0$ 에서 공진이 발생하며, 공진 주파수는 식 (2)와 같이 공진 경로의 유효 전기적 길이에 의해 결정된다.

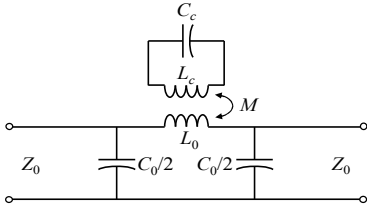
$$f_0 = \frac{c_0}{\lambda_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

제안된 회로의 공진 주파수 부근에서는 위상 응답의 기울기가 양의 값을 갖는 구간이 형성되어, 군 지연이 음의 값을 나타내는 구간이 발생한다[10].



(a) 기존의 NGDC 구조

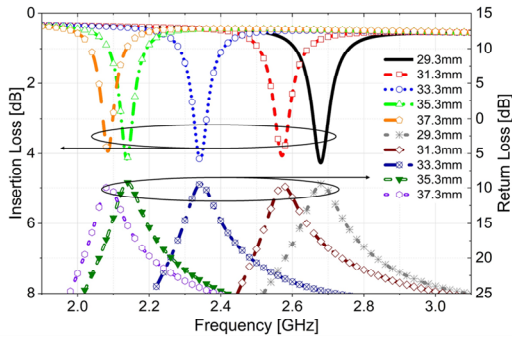
(a) Configuration of the conventional NGDC



(b) NGDC 등가회로

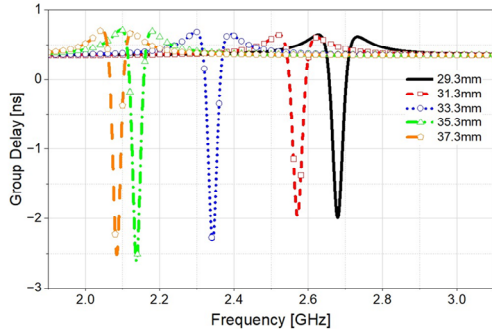
(b) Equivalent circuit of the conventional NGDC

그림 1. 기존의 저손실 전송선형 NGDC 구조 및 등가회로  
Fig. 1. Configuration and equivalent circuit of the conventional NGDC



(a) 삽입 손실 및 반사 손실

(a) Insertion loss and return loss



(b) 군 지연

(b) Group delay

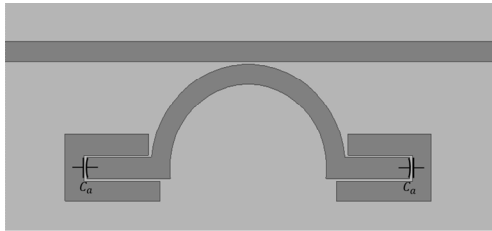
그림 2. 커플링라인 길이( $l_c$ ) 변화에 따른 NGDC 동작특성 시뮬레이션 결과

Fig. 2. Parametric study of the conventional NGDC with respect to  $l_c$

따라서, 공진 경로의 전기적 길이를 변화시키면 공진 주파수 및 음의 군 지연 발생 주파수 또한 함께 이동하게 된다. 커플링 라인 길이에 따른 동작 주파수 변화를 확인하기 위하여 서로 다른  $l_c$ 를 갖는 구조에 대해 HFSS 시뮬레이션을 수행하였고, 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)에서  $l_c$ 가 17.5mm에서 25.5mm로 증가함에 따라 동작 주파수는 2.68GHz에서 2.09GHz로 하향 이동하였으며, 동작 주파수가 높아질수록 삽입 손실이 증가하는 경향이 관찰되었다. 그림 2(b)의 군 지연 결과에서 최소 군 지연 값은 -1.98ns에서 -2.51ns 범위로 변화하였다. 이는 커플링 라인의 길이 증가에 따라 공진 경로의 유효 전기적 길이가 증가하고, 그 결과 공진 주파수가 낮은 대역으로 이동함을 의미한다. 한편, NGDC의 등가회로는 그림 1(b)와 같이 나타낼 수 있으며, 등가 회로에 의한 공진 주파수는 인덕턴스와 커패시턴스에 의해서 식 (3)과 같이 나타나며, 공진 회로의 등가 커패시턴스를 변화시킬 경우 동작 주파수를 변경할 수 있음을 알 수 있다.

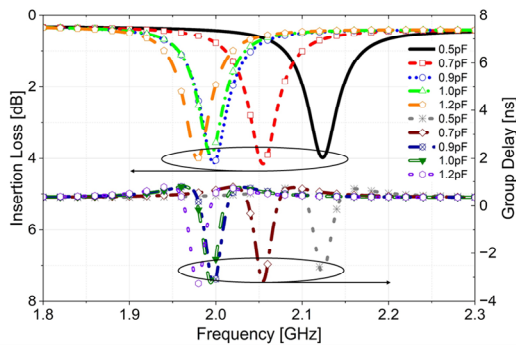
$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{L_c C_c}} \quad (3)$$

기존의 NGDC의 커플링 구조에서 커플링 라인 간 결합 커패시턴스에 따른 동작 주파수의 변화를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)에 나타낸 것과 같이 NGDC의 커플링 라인과 부가 커플링 라인 사이에 부가 커패시턴스  $C_a$ 를 lumped element 형태로 인가하고, HFSS 시뮬레이션을 통해 인가된  $C_a$  값의 변화에 따른 공진 주파수 및 군 지연 특성을 그림 3(b)에 나타내었다.  $l_c$ 는 29.3mm로 고정하였을 때, 커플링 라인 사이에 인가한  $C_a$ 가 0.5pF에서 1.2pF로 증가함에 따라 동작 주파수는 2.13GHz에서 1.98GHz로 하향 이동하였으며, 군 지연은 -2.81ns에서 -3.31ns로 변화하였다. 그림 3의 결과를 통해 커플링 라인 사이에 커패시터를 인가하였을 때 기존 구조에 비해 음의 군 지연이 발생하는 주파수가 낮아지며, 인가된 커패시턴스가 증가할수록 음의 군 지연이 발생하는 주파수가 낮아지는 것으로 나타났다.



(a) 커플링 라인간 부가 커패시터가 삽입된 NGDC 구조도

(a) Configuration of the NGDC with embedded capacitor between coupling lines



(b) 삽입 손실, 군 지연 특성

(b) Insertion Loss and Group delay

그림 3. 커플링라인의 부가 커패시턴스에 따른 NGDC 동작특성 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Parametric study of the conventional NGDC with respect to embedded capacitance

### III. NGDC 소형화 설계방안

그림 3에 나타난 결과를 바탕으로 제안된 NGDC 구조를 그림 4에 나타내었다. 기존의 NGDC에서 커플링 라인 간의 결합 커패시턴스  $C_a$ 를 증가시키기 위하여 말발굽형 커플링 라인과 부가 커플링 라인 간의 형태를 변경하였다. 이를 통해, 커플링 라인의 물리적 길이  $l_c$ 를 증가시키는 대신 구조적 변형을 통해 등가 커패시턴스를 증가시켜 기존 구조보다 짧은 물리적 길이에서 동일한 동작 주파수를 나타내도록 하였다. 제안된 회로를 검증하기 위하여 그림 4에 제시된 제안된 NGDC 구조에 대한 설계를 수행하여 시뮬레이션한 결과를 그림 5에 나타내었다. 기존 NGDC와 제안한 NGDC의 커플링 라인 길이  $l_c$ 를 33.3mm로 동일하게 설정하였을 때, 동작 주파수가 2.34GHz에서 2.11GHz로 낮아지는 것으로 나타났다. 또한, 기존 구조에서와 동일하게 소형화된

NGDC에서 선로 길이  $l_c$ 를 29.3mm에서 37.3mm까지 변화시켰을 때의 동작 특성을 그림 6에 나타내었다.  $l_c$ 가 증가함에 따라 커플링 라인 간의 결합 커패시턴스가 증가하고, 이에 따라 공진 주파수는 2.51GHz에서 1.97GHz로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 동작 주파수 감소에 따라 군 지연 값은 -2.05ns에서 -2.46ns 범위를 나타내었다.

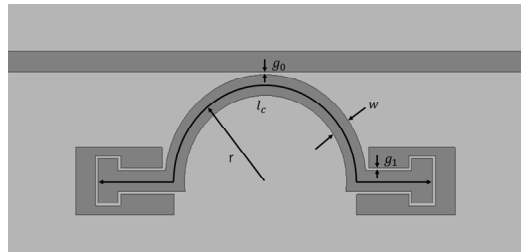


그림 4. 제안된 전송선형 NGDC 구조

Fig. 4. Configuration of the proposed NGDC

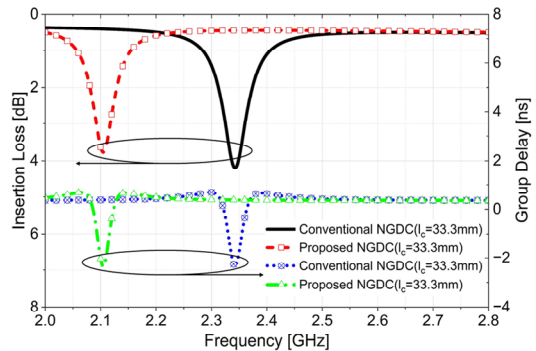
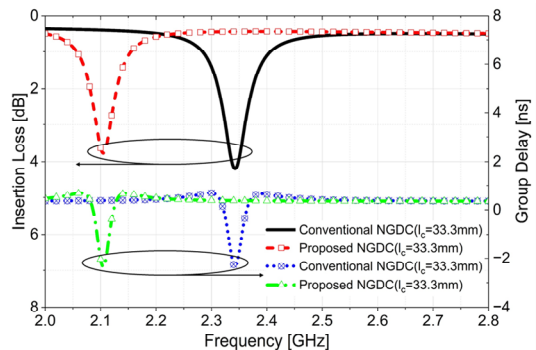


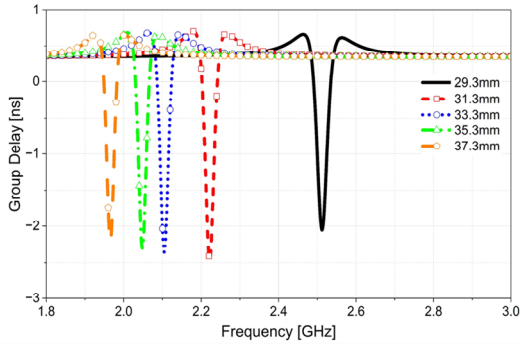
그림 5. 기존 구조와 제안된 구조의 NGDC 동작 주파수 비교

Fig. 5. Comparison of the operating frequencies of the conventional NGDC and the proposed NGDC



(a) 삽입 손실 및 반사 손실

(a) Insertion loss and return loss



(b) 군 지연  
(b) Group delay

그림 6. 커플링라인 길이( $l_c$ ) 변화에 따른 NGDC 동작특성 시뮬레이션 결과

Fig. 6. Parametric study of the proposed NGDC with respect to  $l_c$

#### IV. 소형화된 NGDC prototype 제작 및 측정

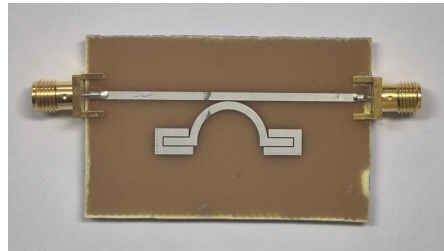
II장과 III장에서의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 기존 NGDC, 제안된 NGDC, 소형화된 NGDC 총 세 가지 구조에 대해 2.4GHz 대역에서 동작하도록 prototype을 설계 및 제작하였다. 세 구조 모두 비유전율 4.4, 두께 0.8mm의 FR4-epoxy 기판을 사용하였다. 각 회로의 설계 파라미터는 표 1에 정리하였으며, 제작된 prototype의 형상을 그림 7에 나타내었다. 제작된 회로의 삽입 손실, 반사 손실 및 군 지연 특성은 Keysight 8753ES 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였으며, 그림 8에 측정 결과를 나타내었다. 커플링라인 길이  $l_c$  값이 33.3mm인 기존 NGDC prototype의 동작 주파수는 2.38GHz이며 군 지연, 삽입 손실 측정값은 각각 -2.08ns, -3.51dB로 나타났다. 이는 시뮬레이션 결과와 유사한 경향을 보이며, 공진 경로 길이에 의해 결정되는 음의 군 지연 특성이 실제 제작하였을 때 에도 구현됨을 확인할 수 있다. 제안된 구조의 NGDC prototype의 동작 주파수는 2.19GHz로 측정되었으며, 이는 동일한  $l_c$  값을 갖는 기존 NGDC 대비 약 8.0% 낮은 값이다. 해당 구조의 군 지연 및 삽입 손실은 각각 -1.51ns, -3.64dB로 측정되었다. 커플링라인 길이  $l_c$  값을 29.9mm로 소형화하였을 때 NGDC prototype의 동작 주파수는 2.42GHz로 나타났으며, 해당 주파수에서 군 지연과 삽입 손실은 각각 -1.60ns, -3.98dB로 측

정되었다. 측정된 결과를 바탕으로 세 NGDC의 성능을 비교하여 표 2에 나타내었으며, 이를 통해 NGDC의 구조 변경을 통해 소형화가 가능하다는 것을 확인하였다.

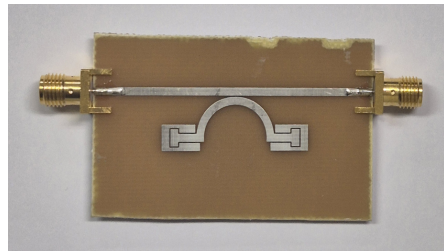
표 1. NGDC prototype 설계 파라미터

Table 1. Design parameters of the proposed NGDC prototype

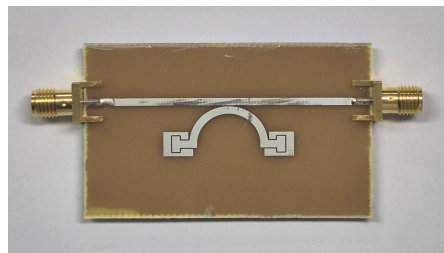
Parameters	Values		
	Conventional NGDC	Proposed NGDC	Compact NGDC
W	1.48mm	1.48mm	1.48mm
$g_0, g_1$	0.2mm	0.2mm	0.2mm
r	6.84mm	6.84mm	6.84mm
$l_c$	33.3mm	33.3mm	29.9mm



(a) 기존 NGDC( $l_c=33.3$ mm)  
(a) Conventional NGDC( $l_c=33.3$ mm)



(b) 제안된 NGDC( $l_c=33.3$ mm)  
(b) Proposed NGDC( $l_c=33.3$ mm)



(c) 소형화된 NGDC( $l_c=29.9$ mm)  
(c) Compact NGDC( $l_c=29.9$ mm)

그림 7. 제작된 NGDC prototype 사진

Fig. 7. Photo of the fabricated NGDC prototype

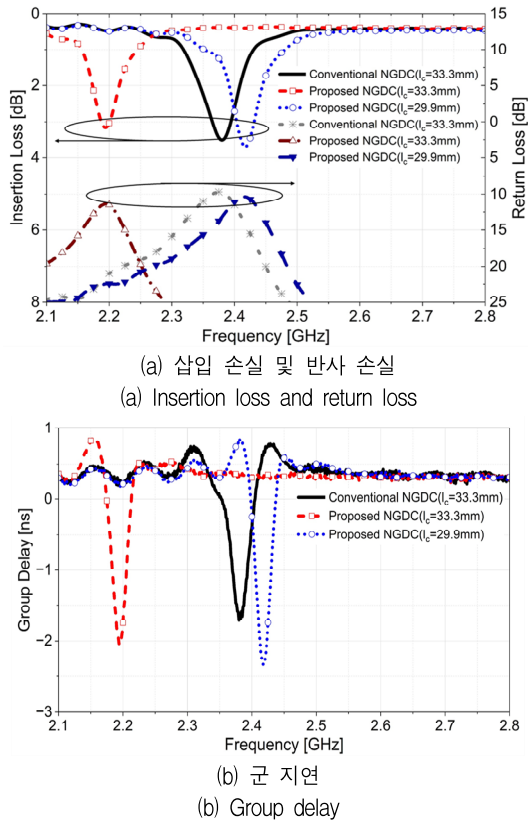


그림 8. NGDC prototype 측정결과  
Fig. 8. Experimental Results of the NGDC prototype

표 2. NGDC 측정결과 비교  
Table 2. NGDC performance comparison

Ref.	$l_c$ [mm]	$f_0$ [GHz]	$GD_{MAX}$ [nS]	$IL_{MAX}$ [dB]
Conventional NGDC	33.3	2.38	-2.08	-3.51
Proposed NGDC	33.3	2.19	-1.51	-3.64
Compact NGDC	29.9	2.42	-1.60	-3.98

### V. 결 론

본 논문에서는 낮은 삽입 손실 특성을 갖는 전송선형 NGDC의 소형화 방안을 제안하였다. 제안된 구조는 말발굽 형태의 커플링 라인에 구조적 변형을 가해 결합 커패시턴스를 증가시키는 방식으로 공진 경로의 전기적 길이를 효과적으로 확장하도록 설계되었다. 이를 통해 음의 군 지연 발생 주파수를 하향 이동시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

또한, 제안된 NGDC는 집중 정수 소자를 사용하지 않고 분포 정수 소자로 구현되어, 기존 전송선형

NGDC가 갖는 낮은 삽입 손실 특성을 유지하였다. 기존의 구조와 동일한 가로 길이를 갖는 NGDC prototype의 측정 결과, 음의 군 지연 발생 주파수가 기존 NGDC의 2.38GHz에서 2.19GHz로 감소하였으며, 제안한 구조의 NGDC가 기존의 NGDC와 동일한 동작 주파수를 가질 때  $l_c$ 값이 33.3mm에서 29.9mm로 10.2% 감소함을 확인하였다. 실험 결과를 통해 제시된 바와 같이, 커플링 라인의 길이 및 결합 구조 조절을 통해 음의 군 지연 발생 주파수를 효과적으로 제어할 수 있으며, 동시에 군 지연 및 삽입 손실 특성을 비교적 일정하게 유지될 수 있음을 확인할 수 있다. 본 연구에서 제안한 설계 방법은 저손실 특성을 요구하는 RF 시스템에서 NGDC의 소형화 구현에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### References

- [1] L. Brillouin, "Wave Propagation and Group Velocity", Academic Press, New York, 1960.
- [2] C.-T. M. Wu and T. Itoh, "Maximally Flat Negative Group-Delay Circuit: A Microwave Transversal Filter Approach", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 62, No. 6, pp. 1330-1342, Jun. 2014. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2014.2320220>.
- [3] B. Ravelo, L. Wu, F. Wan, W. Rahajandraibe, and N. M. Murad, "Negative Group Delay Theory on Li Topology", IEEE Access, Vol. 8, pp. 47596-47606, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2979453>.
- [4] G. V. Eleftheriades, O. Siddiqui, and A. K. Iyer, "Transmission line models for negative refractive index media and associated implementations without excess resonators", IEEE Microwave Wireless Components Letters, Vol. 13, No. 2, pp. 51-53, Feb. 2003. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2003.808719>.
- [5] O. F. Siddiqui, S. J. Erickson, G. V. Eleftheriades, and M. Mojahedi, "Time-domain measurement of negative group delay in negative-refractive-index

transmission-line metamaterials", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 52, No. 5, pp. 1449-1454, May 2004. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2004.827018>.

- [6] G. Chaudhary and Y. Jeong, "Low Signal-Attenuation Negative Group-Delay Network Topologies Using Coupled Lines", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 62, No. 10, pp. 2316-2324, Oct. 2014. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2014.2345352>.
- [7] G. Chaudhary, Y. Jeong, and J. Lim, "Microstrip Line Negative Group Delay Filters for Microwave Circuits", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 62, No. 2, pp. 234-243, Feb. 2014. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2013.2295555>.
- [8] Y. Jeong and G. Chaudhary, "Transmission-type negative group delay networks using coupled line doublet structure", IET Microwaves, Antennas & Propagation, Vol. 9, No. 8, pp. 748-754, Feb. 2015. <https://doi.org/10.1049/iet-map.2014.0351>.
- [9] C. L. Palson, D. D. Krishna, and B. R. Jose, "Planar Tunable Negative Group Delay Circuit with Low Reflection Loss", Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 113, pp. 53-59, Nov. 2023. <http://doi.org/10.2528/PIERL23090902>.
- [10] H.-W. Lee and W.-S. Yoon, "A design of a negative group delay circuit with low insertion Loss", Journal of KIIT, Vol. 21, No.1, pp. 61-67, Jan. 2023. <http://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.1.61>

### 저자소개

#### 윤 원 상 (Won-Sang Yoon)



1997년 2월 : 고려대 전파공학과 (공학사)  
 1999년 2월 : 고려대 대학원 통신시스템공학과(공학석사)  
 2010년 8월 : 고려대 대학원 컴퓨터·전파통신공학과(공학박사)  
 1999년 3월 ~ 2015년 8월 :

한화탈레스(現 한화시스템) 통신연구소 수석연구원

2015년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 전자공학과 교수  
 관심분야 : RF & Microwave transceivers and sensor systems, Reconfigurable RF & Microwave system and antennas

#### 최 윤 주 (Yoon-ju Choi)



2025년 2월 : 호서대 전자공학과 (공학사)  
 2025년 3월 ~ 현재 : 호서대 전자공학과 석사과정  
 관심분야 : 초고주파 능동/수동 회로, 재구성 회로, 안테나 시스템

#### 임 종 식 (Jongsik Lim)



1991년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)  
 1993년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과(공학석사)  
 2003년 2월 : 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부(공학박사)  
 1993년 2월 ~ 2005년 2월 :

한국전자통신연구원 선임연구원

2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기공학과 교수  
 관심분야 : 초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용

#### 한 상 민 (Sang-Min Han)



1996년 2월 : 고려대 전파공학과 (공학사)  
 1998년 8월 : 고려대 대학원 전파공학과(공학석사)  
 2003년 8월 : 고려대 대학원 전파공학과(공학박사)  
 2003년 10월 ~ 2004년 11월 :

UCLA Post Doctoral Research Fellow

2005년 1월 ~ 2007년 8월 : 삼성종합기술원 전문연구원  
 2007년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수  
 관심분야 : RF 시스템, Low power RF transceivers, Active integrated antenna systems