

# 풍력발전 제어에 적용되는 계측신호처리 필터에 대한 특성 고찰

문석준\*, 신윤호, 정태영, 임채환, 류지윤

## Characteristics of Filters for Signal Processing Applied to Wind Turbine Controllers

Seokjun Moon\*, Yunho Shin, Taeyoung Chung, Chaewhan Rim and Jiyune Ryu

### Abstract

In variable-speed variable-pitch wind turbines, the conventional approach for controlling power-production operation relies on a generator-torque controller and a rotor-collective blade-pitch controller. Both controllers use the generator speed measurement as the sole feedback input. In order to mitigate unwanted excitation of the control system, many filters are adopted. In this study, the characteristics of some filters for signal processing are investigated based on frequency response function. They include low-pass filters, band-pass filters, and notch filters. Especially, this study focuses on design parameters of their filters.

### Key words

Controller(제어기), Filter(필터), Low-pass Filter(저역통과 필터), Drive Train Damper(비틀림 댐퍼)

(접수일 2011. 11. 11, 수정일 2011. 12. 15, 게재확정일 2011. 12. 15)

\* 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실

■ E-mail : sjmoon@kimm.re.kr ■ Tel : (042)868-7428 ■ Fax : (042)868-7418

## 1. 서론

MW급 대형 풍력발전기의 개별 제어기(component controller)는 발전기 토크제어기, 날개 피치제어기 및 나셀 요제어기로 구성되어 있다. 개별 제어기는 각 풍력발전기의 상위 제어기(supervisory controller)의 운용조건에 따라 역할을 수행하게 된다. 본 연구에서는 개별 제어기 중 토크 제어기와 피치 제어기만을 다루고자 한다. 일반적인 풍력발전기의 제어로직에서 살펴보면, 토크 제어기는 정격풍속이하에서 최대 전력을 생산하기 위해 최대 파워계수( $C_{p,max}$ ) 곡선을 추종하도록 설계되어 있다. 반면, 피치 제어기는 정격풍속이상에서 일정

한 파워(또는 일정한 토크)를 유지하여 기계적 부하를 저감하면서 정격 전력을 생산하도록 설계되어 있다. 적용된 제어로직에 따라 상이하지만, 토크 제어기와 피치 제어기는 발전기 축에 설치되어 있는 센서(예를 들면, 엔코더 등)를 통해 발전기의 회전 속도를 계측하며, 계측된 회전속도 신호를 근거로 하여 제어 목적을 달성하는 되먹임형 제어기(feedback controller)이다. Fig. 1은 미국 NREL의 해상 풍력발전기에 적용되고 있는 기본제어기(baseline controller)의 흐름도를 보여주고 있다<sup>(1)</sup>.

계측된 신호에는 원하지 않는 성분의 신호가 포함되어 있으므로, 반드시 불필요한 신호성분을 제거하거나 필요한 신호성분만을 추출하는 신호처리 기법을 적용하여야 한다. 다

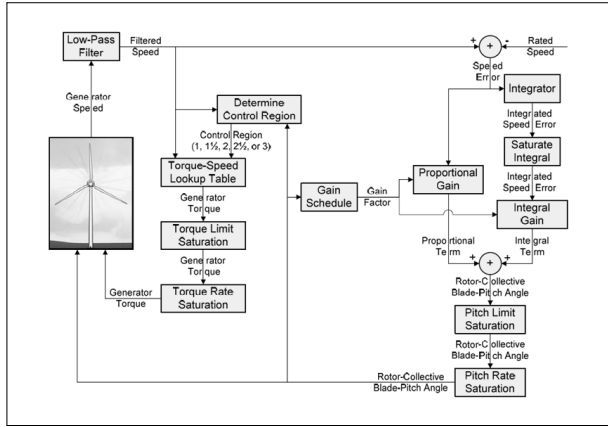


Fig. 1 Flowchart of NREL baseline controller

양한 기법들 중에 보편적으로 적절한 필터(filter)를 활용하여 계측된 신호를 필터링한 후 제어기의 입력단자로 신호를 전달한다. Fig. 1을 보면, 저역통과 필터(low-pass filter)가 활용되고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 풍력발전기의 제어기에는 다양한 필터들이 적용되고 있다. 본 연구에서는 일반적인 필터의 종류를 정리하고, 몇 개의 특정한 필터에 대해 주파수 응답함수를 기반으로 특성을 파악하고자 한다. 또한 필터 설계에 필요한 인자들을 정리하고자 한다.

## 2. 필터의 종류

필터는 방법에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 디지털 제어가 등장하기 전까지는 아날로그 필터가 주로 사용되었다. 그러나 최근에는 대부분 디지털 방식의 제어가 채용되고 있으며, 따라서 디지털 필터를 많이 사용하고 있다. 디지털 필터를 수학적식으로 모델링하면, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$y[n] + a(2)y[n-1] + \dots + a(na+1)y[n-na] = b(1)x[n] + b(2)x[n-1] + \dots + b(nb+1)x[n-nb] \quad (1)$$

식 (1)에서  $y$ 는 필터를 통과한 신호이고,  $x$ 는 필터를 통과할 신호이다.  $a$ 와  $b$ 는 필터의 차수를 나타내는 계수이다.  $nb=0$ 이면, IIR(Infinite Impulse Response) 필터 또는 AR(Auto Regressive) 필터라고 부른다.  $na=0$ 이면, FIR(Finite Impulsive Response) 필터 또는 MA(Moving Average) 필

터라고 부른다.  $na, nb > 0$ 이면, IIR 필터로서 두 필터의 이름을 결합하여 ARMA 필터라고 부른다. 필터의 차수가 클수록 계산에 필요한 항들이 증가하므로 계산시간이 증가하게 되지만, 원하는 성분만을 보다 정확하게 추출할 수 있다. 식 (1)을 전달함수 식으로 표현하면, 다음과 같이 표현된다.

$$H(z) = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(na+1)z^{-na}}{1 + a(2)z^{-1} + \dots + a(na+1)z^{-na}} \quad (2)$$

식 (1)을 영점과 극점 형태로 표현하면, 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$H(z) = k \frac{(z-q(1))(z-q(2)) \dots (z-q(n))}{(z-p(1))(z-p(2)) \dots (z-p(n))} \quad (3)$$

식 (3)을 살펴보면, 필터의 특성은 영점( $q(i)$ ), 극점( $p(i)$ )과 게인( $k$ )에 의해 결정됨을 알 수 있다. 특히 극점의 값에 따라 전달함수의 안정성이 판별될 수 있다. FIR 필터인 경우 극점이 존재하지 않으므로 안정성이 보장된 필터임을 알 수 있는 반면, IIR 필터는 필터의 계수에 따라 불안정한 특성을 가질 수 있다. 그러나 필터를 통과한 신호를 재사용하므로 FIR 필터에 비해 우수한 성능을 보유하고 있다. 대부분의 풍력발전기의 제어기는 상대적으로 성능이 우수한 IIR 필터를 적용하고 있으므로, 필터의 설계단계에서 반드시 필터의 성능뿐만 아니라 안정성을 확인해야 한다.

또한 주파수별 특성에 따라 저역통과 필터(low-pass filter), 고역통과 필터(high-pass filter), 대역통과 필터(band-pass filter) 및 대역억제 필터(band-stop filter) 등으로 대별할 수 있다. Fig. 2는 각 필터의 주파수 응답특성을 나타낸 것이다. 저역통과 필터는 저주파수 영역의 성분 신호만을 통과시키는 반면, 고역통과 필터는 고주파수 영역의 성분 신호만을 통과시킨다. 대역통과 필터는 원하는 주파수 범위영역의 성분 신호만을 통과시키는 반면, 대역억제 필터는 원하는 주파수 범위영역의 성분 신호만을 억제한다. 억제하는 주파수 범위영역이 매우 좁을 경우에 대해서는 특히 노치(notch) 필터라고 부르고 있다. Fig. 2(c)와 (d)에서  $f_c$ 는 중심주파수(center frequency)이며,  $f_l$ 과  $f_h$ 는 차단주파수(cut-off frequency)이다. 차단주파수는 저역통과 및 고역통과 필터에서는 단일 주파수이며, 대역통과 및 대역억제 필터에서는 차단주파수가 영역으로 표현되면 하위차단( $f_l$ ) 및 상위차단( $f_h$ ) 주파수에

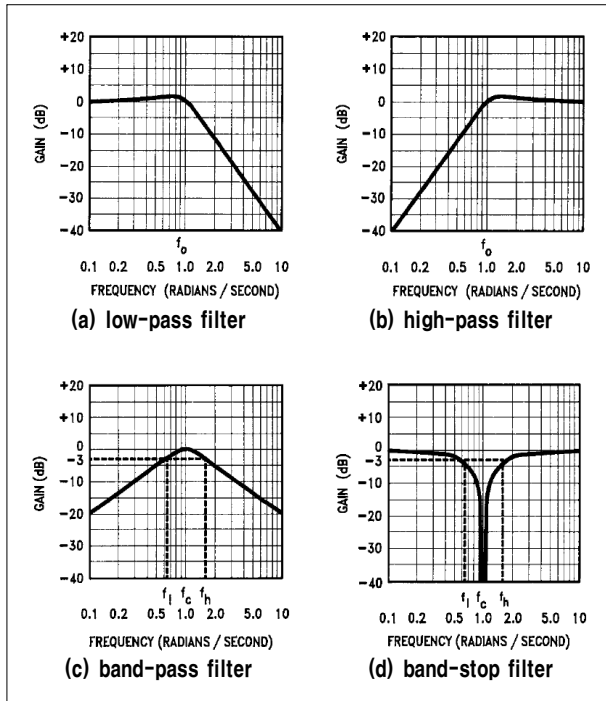


Fig. 2 Type of filters<sup>(2)</sup>

서 각각 3 dB의 크기 저감이 발생한다.

Fig. 3은 널리 사용되고 있는 필터인 Butterworth, Chebyshev, Elliptic 및 Bessel 필터를 보여주고 있으며, 편의상 저역통과 필터의 주파수 특성만을 정리하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 각 필터마다 특성이 다른 것을 볼 수 있다. 즉, 저주파수영역에서 저역통과 특성, 차단주파수 이후 차단기울기의 특성 및 고주파수영역에서 차단특성 등에서 상이한 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 필터의 특성을 기반으로 적절한 특성을 갖는 필터를 설계해야 한다. 이중 많이 사용하고 있는 필터는 Butterworth 필터이며, Mathworks사의 MATLAB에서는 각각 필터에 대해 함수를 제공하고 있다<sup>(3)</sup>.

### 3. 저역 통과 필터의 적용

Fig. 1에서 보는 바와 같이 풍력발전기의 제어기는 발전기의 회전속도를 계측하여 제어로직에 입력신호로 사용하고 있다. 풍력발전시스템은 다양한 풍속에서 운용되며, 일정시간 동안 계측된 풍속은 평균풍속을 기준으로 변하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 바람이 탄성체인 날개(blades), 타워, 저

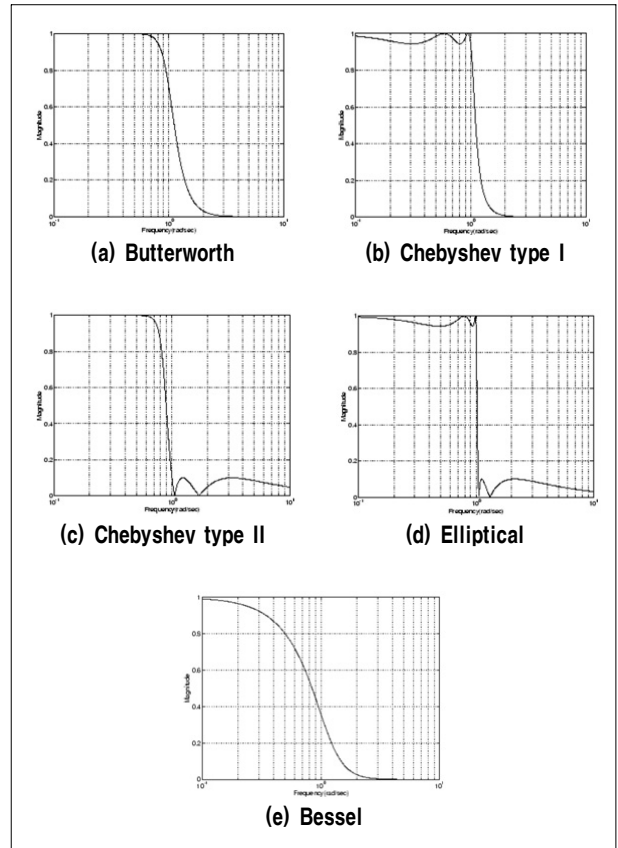


Fig. 3 Low-pass filters<sup>(3)</sup>

속/고속 회전축 등을 통해 발전기의 회전자(rotor)를 돌리게 된다. 따라서 계측된 발전기의 회전속도 신호에는 바람 성분뿐만 아니라 날개의 탄성특성(날개 수 특성 포함), 타워의 탄성특성, 회전축의 비틀림 진동특성 성분이 자연스럽게 포함되게 된다. Fig. 4는 발전기 회전속도에 대한 전달함수를 보여주고 있다<sup>(4)</sup>. 다양한 성분들이 포함되어 있는 것을 확인할 수 있다.

복잡한 성분들이 포함된 계측신호로부터 제어기에 입력될 회전속도만을 추출하기 위해 저역통과 필터를 사용한다. 문헌에 따르면, 미국 NREL에서는 1차 저역통과 필터를 사용하는 것으로 알려져 있다<sup>(1)</sup>. 국내외 풍력발전기에서는 2차 저역통과 필터를 사용하고 있는 것으로 파악하고 있다. NREL 1차 저역통과 필터의 수학적 모델링은 다음의 식과 같다.

$$y[n] = (1 - \alpha)x[n] + \alpha y[n - 1], \quad \alpha = e^{-2\pi T_s f_c} \quad (4)$$

여기서,  $T_s = 0.0125$ ,  $f_c = 0.25$ 이다. 따라서 계측 샘플링

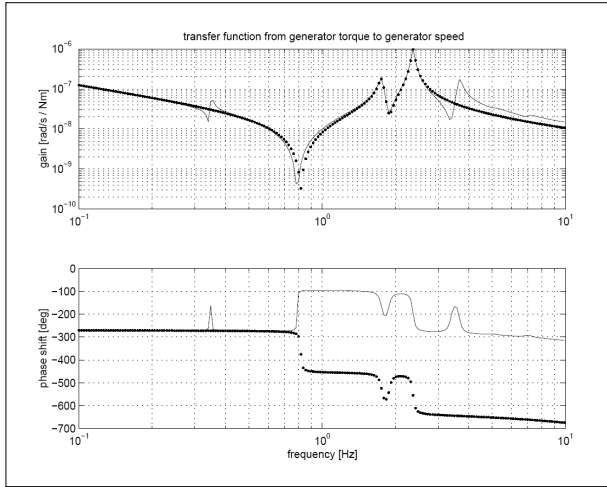


Fig. 4 An example of transfer function for generator speed from generator torque<sup>(4)</sup>

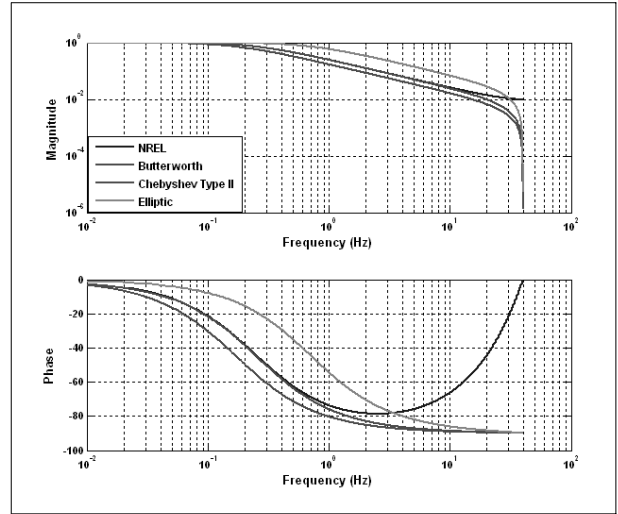


Fig. 6 Frequency response functions of low-pass filters

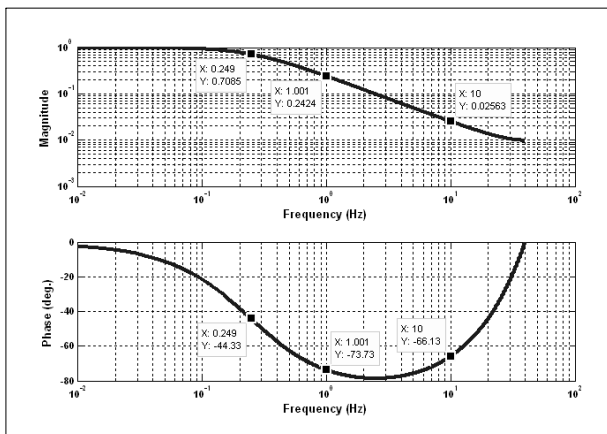


Fig. 5 Frequency response function of NREL low-pass filter

주파수는 80Hz이며, 차단주파수는 0.25Hz임을 알 수 있다. 식 (4)를 이용하여 주파수 응답함수를 도식하면, Fig. 5와 같다. 코너주파수에서 크기가 약 0.7(-3dB)로 저감되고 위상은 약 44° 변하는 것을 확인할 수 있다. 고주파수인 1Hz와 10Hz 성분은 각각 약 0.24 및 0.03으로 저감되고 있다.

일반적으로 사용되고 있는 필터들과 NREL에서 제시한 필터의 특성을 비교해 보면, Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 성능측면에서는 Elliptic 필터가 상대적으로 우수하지만, 위상변화가 큰 것을 확인할 수 있다. NREL 필터는 Butterworth 필터와 매우 유사한 특성을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 두 필터를 식 (1)과 같이 나타내면, 각 계수는 Table 1과 같이 정리할 수 있다. Table 1에서 알 수 있듯이 NREL 필터

Table 1. Coefficients of low-pass filters

type	b	a
NREL	[0,02]	[1,00 -0,98]
Butterworth	[0,01 0,01]	[1,00 -0,98]
Chebyshev Type I	[0,03 0,03]	[1,00 -0,95]
Chebyshev Type II	[0,01 0,01]	[1,00 -0,99]
Elliptic	[0,03 0,03]	[1,00 -0,95]

는  $na = 1, nb = 0$ 이고, Butterworth 필터는  $na = 1, nb = 1$ 인 된다. 따라서 성능측면에서는 차이가 없지만, 계산량에서는 차이가 있음을 알 수 있다. 실제 탑재되는 제어기에서는 이러한 필터를 상당 수 사용하므로 가능하면 계산량을 줄이는 것이 제어기의 부하를 저감하는 방법이 될 수 있다.

풍력발전기의 경우, 저역통과 필터의 코너 주파수보다 큰 주파수 영역에서 상대적으로 큰 성분이 존재할 수 있다. 이러한 성분은 낮은 차수의 저역통과 필터만으로는 해결할 수 없기 때문에 노치필터 형태의 대역억제 필터를 사용한다. Fig. 7은 2차 저역통과 필터와 2차 노치필터를 결합한 필터와 고차 저역통과 Butterworth 필터의 주파수 응답 특성을 비교한 것이다. Fig. 7에서 보듯이 Butterworth의 차수가 증가할수록 필터성능은 향상되는 것을 확인할 수 있으며, 3차 Butterworth 필터가 저역통과필터와 노치필터와 결합된 필터보다 성능이 우수한 것을 확인할 수 있다. 식 (1)을 적용하면, 3차 Butterworth 필터는  $na = 3, nb = 3$ 이고, 결합된 필터는  $na = 2, nb = 4$ 인 IIR 필터이다. 따라서 계산량은 대동소이할 것으로 판단

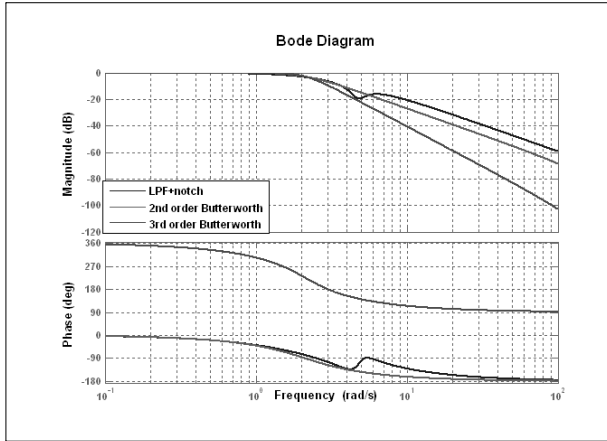


Fig. 7 Characteristics of combined low-pass filter with notch filter

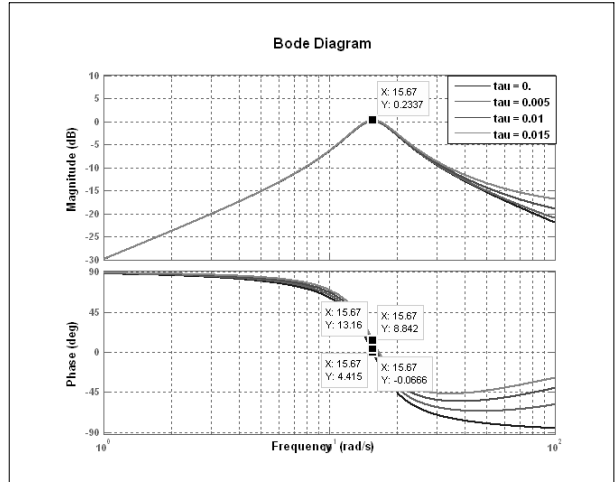


Fig. 9 Characteristics of DTD band-pass filter w.r.t.  $\tau$

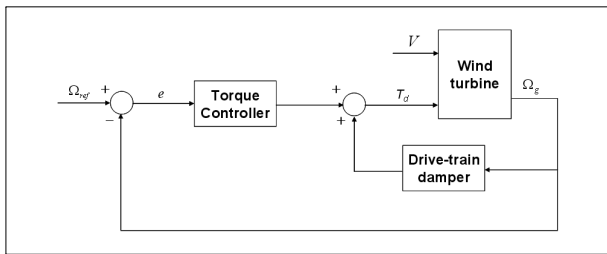


Fig. 8 Flowchart of torque controller with DTD

된다. 노치필터가 목적으로 하는 주파수가 변할 경우가 발생한다면, 결합된 필터보다는 3차 Butterworth 필터가 강인성 측면에서 우수할 것 같으며, 현장에서의 게인튜닝 측면에서 보면, 노치필터를 사용하는 것이 더 편리할 것으로 판단된다. 노치필터의 특성에 대해서는 4절에서 다루고 있다.

#### 4. 대역 통과 필터의 적용

일반적으로 가변속도 발전기인 경우에는 DTD(Drive Train Damper)가 설치되어 저속축-기어박스-고속축으로 구성된 축계의 비틀림 진동을 억제함으로써 기계적 부하를 저감하는 역할을 한다. Fig. 8은 토크 제어기와 DTD가 결합된 제어흐름도의 한 예를 보여주고 있다.

DTD는 발전기의 회전속도 계측신호를 입력으로 받고 있으며, 대역통과 필터 등으로 구성되어 있다. 적용될 수 있는 대역통과 필터의 요구사항은 참고문헌에 잘 기술되어 있으며,

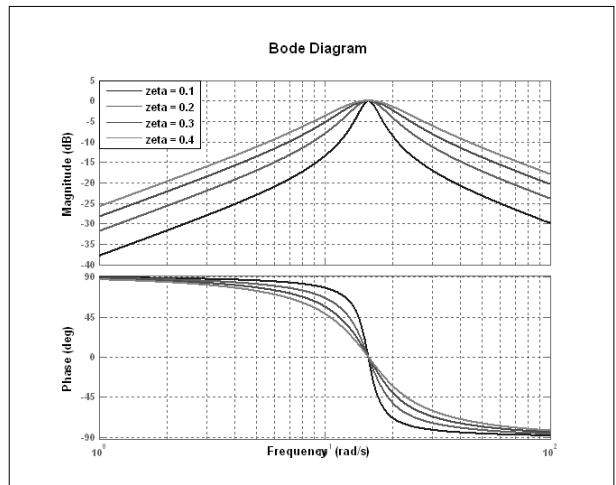


Fig. 10 Characteristics of DTD band-pass filter w.r.t.  $\zeta$

아래의 식으로 표현된다<sup>(5,6)</sup>.

$$G = \frac{2\zeta\omega_s(1+s\tau)}{s^2 + 2\zeta\omega_s + \omega^2} \quad (5)$$

식 (5)로 표현되는 대역통과 필터에서  $\omega$ 가 비틀림 진동의 공진주파수에 해당하며,  $\tau$ 와  $\zeta$ 는 각각 시간지연을 보상하는 계수와 감쇠계수이다.  $G$ 는 크기를 조절하는 게인이다. 따라서 필터의 특성은  $\tau$ 와  $\zeta$ 에 의해 결정된다. Fig. 9는  $\tau$ 에 따른 필터의 주파수 응답함수를 보여주고 있으며, Fig. 10은  $\zeta$ 에 따른 함수특성을 보여주고 있다. Fig. 9를 자세히 보면,  $\tau$ 가 증가할수록 공진주파수에서 위상이 크게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 공진주파수에서 응답크기는 변화하지 않

Table 2. Phase changes w.r.t  $\tau$

$\tau$	magnitude	phase(deg.)
0	0.234	-0.07
0.005	0.234	4.42
0.01	0.234	8.84
0.015	0.234	13.16

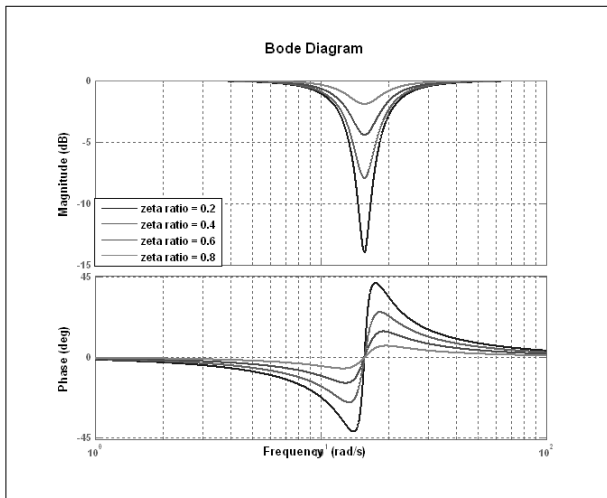


Fig. 11 Characteristics of notch filters w.r.t.  $\zeta_1/\zeta_2$

는다. 자세한 수치는 Table 2에 정리하였다. 한편, Fig. 10을 보면, 공진주파수에서 위상의 변화는 없으나,  $\zeta$ 가 증가할수록 통과영역이 넓어지는 것을 알 수 있다. 따라서 적절한  $\tau$ 와  $\zeta$ 의 선정은 매우 중요하다.

3절(저역 통과 필터의 적용)에 기술한 바와 같이, 대역통과 필터의 코너 주파수보다 큰(또는 작은) 주파수 영역에서 상대적으로 큰 성분이 존재할 수 있다. 이러한 성분은 식 (5)와 같은 대역통과 필터만으로는 해결할 수 없기 때문에 노치필터를 사용한다. 일반적으로 사용되는 2차 노치필터의 전달함수는 아래의 식으로 표현된다.

$$\frac{s^2 + 2\zeta_1\omega_1s + \omega_1^2}{s^2 + 2\zeta_2\omega_2s + \omega_2^2} \quad (6)$$

식 (6)에서  $\omega_1 = \omega_2$ 이면 노치필터이고,  $\omega_1 \neq \omega_2$ 이면 위상 필터가 된다. 일부 풍력발전기의 제어기에서는 위상필터를 사용하고 있는 것으로 알려져 있는데, 심도 있는 연구가 필요한 것으로 판단하고 있다. 또한  $\zeta_1 < \zeta_2$ 인 경우에 노치필터의 특성을 보인다. Fig. 11은  $\zeta_1/\zeta_2$ 에 따른 주파수 응답특성을 보

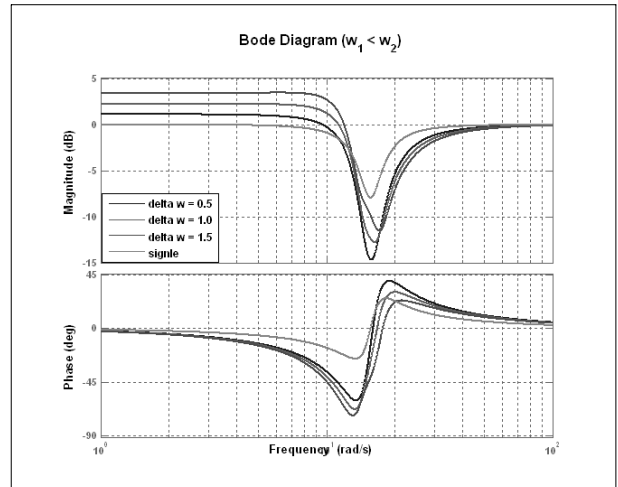


Fig. 12 Characteristics of double notch filter( $\omega_1 < \omega_2$ )

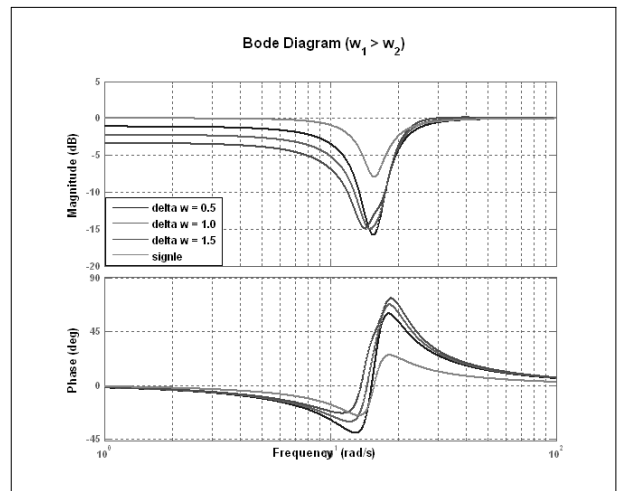


Fig. 13 Characteristics of double notch filter( $\omega_1 > \omega_2$ )

여주고 있다.  $\zeta_1/\zeta_2$ 가 작을수록 목적 주파수에서의 성능은 우수하지만 코너주파수 범위는 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서 적절한  $\zeta_1/\zeta_2$ 은 중요한 설계인자가 된다.

노치필터의 성능을 향상시키기 위해 다음 식과 같은 더블 노치필터(double notch filter)를 사용하기도 한다.

$$\frac{s^2 + 2\zeta_1\omega_1s + \omega_1^2}{s^2 + 2\zeta_2\omega_2s + \omega_2^2} \cdot \frac{s^2 + 2\zeta_1\omega_2s + \omega_2^2}{s^2 + 2\zeta_2\omega_1s + \omega_1^2} \quad (7)$$

더블 노치필터는  $\omega_1$ 과  $\omega_2$ 의 크기에 따라 특성이 결정된다. Fig. 12와 13은 더블 노치필터의 주파수 응답특성을 보여주고 있다. Fig. 12는  $\omega_1 < \omega_2$ 인 경우이고, Fig. 13은  $\omega_1 > \omega_2$ 인 경

우를 보여주고 있다. Fig. 12와 13에서  $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_0 = \omega_0 - \omega_1$  이고, single은 식 (6)으로 표시되는 노치필치이다. Fig. 12와 Fig. 13을 살펴보면, 더블 노치필터가 싱글 노치필터보다 필터 성능은 더 우수한 것으로 판단된다. 하지만  $\omega_1 < \omega_2$ 인 경우에는 저주파수 영역에서 신호가 증폭되고,  $\omega_1 > \omega_2$ 인 경우에는 저주파수 영역에서 신호가 저감되는 단점이 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 코너주파수 범위는 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한  $\Delta\omega$ 에 의해 전 영역에서 주파수 응답이 변하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 적절한 필터를 선정하고, 설계할 수 있는 능력이 필요하다. DTD는 이러한 다양한 필터들로 구성할 수 있는데, 여러 개의 다른 필터로 구성하는 것과 하나의 고차 필터로 구성하는 것이 우수한 것인지는 대상 장비에 따라 다를 것으로 판단된다.

## 5. 결론

MW급 풍력발전기는 발전기 토크제어기와 날개 피치제어기 등으로 구성되어 있다. 제어기는 계측한 신호를 기반으로 임무를 수행하며, 계측한 신호에서 필요한 신호만을 추출하는 다양한 필터들이 사용되고 있다. 본 연구에서는 풍력발전기의 제어기에 사용되고 있는 필터의 종류 및 특성을 정리하였으며, 다양한 저역통과 필터들의 특성을 비교·고찰하였다. 또한 DTD에 사용되고 있는 특수한 대역통과 필터의 특성과 노치 필터의 특성을 살펴보았으며, 더불어 더블 노치필터의 고찰도 수행하였다. 또한 복수개의 필터를 결합하여 사용할 경우의 특성들도 살펴보았다. 이러한 고찰을 통해 필터를 설계할 때, 고려해야 할 설계인자들을 도출해 보았다. 풍력발전기의 제어기는 선형모델링을 기반으로 설계를 하기 때문에 비선형성이 강한 풍력발전기에 현장 적용할 때 튜닝이라는 절차가 반드시 필요하다. 필터의 경우에도 현장 튜닝이 필요할 것으로 판단되며, 필터의 설계인자 특성을 파악하고 있다면, 보다 용이하게 튜닝작업을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 2009/2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제 결과의 일부분이다.(과제명: 풍력발전시스템용 제어기술 및 기기개발(No. 20103010020040), 부유식 해상풍력발전 시스템 동역학 시뮬레이션 기술개발(No. 20093020020020))

## References

- [1] J.M. Jonkman, "Dynamic Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine", NREL/TP-500-41958, 2007, pp. 57-68.
- [2] K. Lacanette, "A Basic Introduction to Filters - Active, Passive, and Switched-Capacitor", National Semiconductor Application Note 779, 2010.
- [3] T.P. Krauss, L. Shure and J.N. Little, Signal Processing Toolbox User's Guide, The Mathworks Inc., 1994.
- [4] T.G. von Engelen, P. Schaak and C. Lindenburg, "Control for Damping the Fatigue Relevant Deformation Modes of Offshore Wind Turbines", EWEC 2003.
- [5] A. Dixit and S. Suryanarayanan, "Towards Pitch-Scheduled Drive Train Damping in Variable-Speed, Horizontal-Axis Large Wind Turbines", Proceeding of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and The European Control Conference 2005, Seville, Spain, Dec. 2005, pp. 1295-1300.
- [6] E.A. Bossanyi, "The Design of Closed-loop Controllers for Wind Turbines", Wind Energy, Vol. 3, 2000, pp. 149-163.
- [7] S. Suryanarayanan and A. Dixit, "A Procedure for the Development of Control-Oriented Linear Models for Horizontal-Axis Large Wind Turbines", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 129, 2007, pp. 469-478.

### 문 석 준



1988년 서울대학교 조선공학과 공학사  
1990년 서울대학교 조선해양공학과 공학석사  
1995년 서울대학교 조선해양공학과 공학박사

현재 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실 책임연구원  
(E-mail : sjmoon@kimm.re.kr)

### 신 운 호



2003년 한양대학교 기계공학부 공학사  
2004년 KAIST 기계공학과 공학석사  
2009년 KAIST 기계공학과 공학박사

현재 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실 선임연구원  
(E-mail : shinyh77@kimm.re.kr)

### 정 태 영



1975년 서울대학교 조선공학과 공학사  
1977년 서울대학교 조선공학과 공학석사  
1987년 MIT 해양공학과 공학박사

현재 한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실 연구위원  
(E-mail : tychung@kimm.re.kr)

### 임 채 환



1980년 서울대학교 조선공학과 공학사  
1984년 서울대학교 조선공학과 공학석사  
1993년 미시건대학교 조선해양공학과 공학박사

현재 한국기계연구원 시스템신뢰성연구실 책임연구원  
(E-mail : cwrin@kimm.re.kr)

### 류 지 윤



1992년 영남대학교 기계공학과 공학사  
IEC TC88 위원

현재 (주)유니슨 풍력연구소 연구소장  
(E-mail : jyryu@unison.co.kr)