

다양한 불평형 계통 상황에서 계통 연계형 3-레벨 NPC 컨버터의 중성점 전류 변동에 대한 해석 및 제어

최재훈¹, 서용석[†]

Analysis and Control of Neutral Point Current Deviation in Grid Tied 3-Level NPC Converter under Various Grid Unbalanced Conditions

Jaehoon Choi¹ and Yongsug Suh[†]

Abstract

This study introduces an analysis and control method for the variation of neutral point current in a grid-tied three-level neutral point clamped (NPC) converter under various grid imbalance operating conditions. Various fault cases with unbalanced amplitude and phase are systematically categorized and described using a unified metric called the imbalance factor. The fundamental component of neutral point current is generated under grid imbalance cases. The pattern and behavior of this fundamental component of neutral point current highly depend on the imbalance factor regardless of the particular type of grid fault cases. The control scheme for regulating the negative sequential component of AC input current effectively reduces the size of the fundamental component of neutral point current under a wide range of grid imbalance cases. The control scheme will enable a grid-tied three-level NPC converter to operate reliably and stably under various types of grid faults.

Key words: 3-level NPC (Neutral Point Clamped) converter, Unbalanced grid voltage, Neutral point current, Neutral point deviation

1. 서 론

현재 대한민국 정부의 2030 정책에 의해 매년 풍력발전기와 태양광발전 등의 신재생 발전원의 용량 및 발전량은 지속적으로 증가하고 있다. 따라서 발전기와 계통 사이에 있는 PCS(Power Conditioning System)의 용량 또한 증가하고 있다. 그로 인해 PCS에 전력스위치가 받게 되는 전기적 스트레스를 줄이기 위한 NPC(Neutral Point Clamped) 회로는 더욱 대중화되어 사용되고 있다. 이와 같이 PCS의 성능은 증가하고 있지만, 계통에서 발생하는 사고는 매년 발생하고 있으며, 그로 인해 계통과 연계된 PCS에 발생하는 문제는 과거부터 지금까지 계속 이슈가 되고 있다. 특히 현재에는 신재생발전원의 증

가로 인해 계통에 연결되는 PCS의 역할은 더욱 중요해지고 있으며, LVRT(Low Voltage Ride Through)와 같은 계통 사고 시 연결된 발전기에 요구되는 조건 또한 증가하고 있다. 또한 발전기의 용량이 지속적으로 증가하고 있는 현재에 있어서 불안정한 계통 상황에서도 제어를 통해 PCS의 안정성을 유지하는 것은 매우 중요하다. 불평형 계통 상황에서 계통 연계형 컨버터에 대한 연구는 과거부터 다양한 방식으로 진행되어 왔다. 불평형 계통 전압에서 3-level NPC 컨버터의 교류 전류를 제어하여 중성점의 밸런스를 맞추는 제어 방식^[1-4], SVPWM을 활용한 중성점 전류를 제어 알고리즘에 대한 연구가 진행되었다^[5]. 또한 현재 큰 이슈가 되고 있는 예측제어 방식을 이용한 불평형 계통 전압 상황에서의 연구 또한 활발히 진행되고 있다^[6]. 그러나, 기존 연구에서는 계통에서 발생할 수 있는 불평형 전압의 국소적인 부분에서 연구되었고, 광범위한 형태의 불평형 계통 전압에 대한 연구는 진행되지 않았다. 계통 사고에 의한 불평형 전압은 다양한 형태로 나타날 수 있다. 단순히 상전압의 크기가 줄어드는 형태 또는 위상 변동이 함께 발생하는 형태로 나타난다. 따라서 현재 연구된 좁은

Paper number: TKPE-2020-25-5-7

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: Dept. of Electrical Engineering, Smart Grid Research Center, Jeonbuk National University

¹ Dept. of Electrical Engineering, Smart Grid Research Center, Jeonbuk National University

Manuscript received Dec. 10, 2019; revised Jan. 7, 2020; accepted Apr. 2, 2020

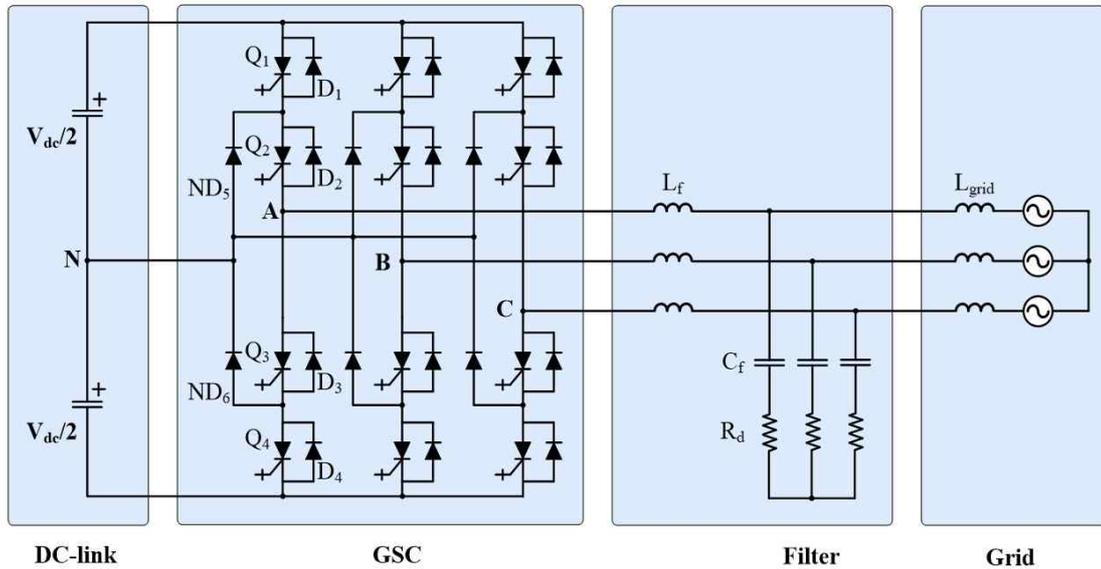


Fig. 1. Grid tied 3-level NPC voltage source converter.

범위의 불평형 조건만으로는 컨버터의 안정성을 완전히 보장하기는 어려운 면이 있다. 그러므로 본 논문에서는 불평형 계통 전압을 계통 사고 유형과 변압기의 권선 타입에 따라서 7가지의 불평형 전압 타입으로 나누고 [10],[11] 각 타입별 불평형 계통 전압이 계통 연계형 3-level NPC 컨버터에 미치는 영향 및 제어 성능에 대한 검증을 진행하였다.

본 논문에서는 광범위하게 사용되고 있는 3-level NPC 회로를 사용하여 연구하였다. 그림 1은 계통 연계형 3-레벨 NPC 컨버터의 회로를 보여준다. 그림에서 보이듯이 DC-link는 2개의 커패시터로 이루어져 있고, 윗단 커패시터와 아랫단 커패시터 사이의 중성점의 균형을 유지하는 게 중요하다. 중성점의 균형이 깨지게 되는 이유는 DC-link 커패시터의 제조 공차에 의한 커패시턴스 값의 불균형에 의해 발생할 수 있고, 스위치 소자들 간의 특성에 불일치로 발생할 수 있다. 마지막으로 3상 불평형 입력전압에 의해 발생할 수 있다. 이로 인해 중성점의 균형이 깨지게 되면 스위칭 스트레스가 증가하고, 컨버터 출력전압의 THD(Total Harmonic Distortion)가 증가하며, 비대칭적인 스위칭 상태가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 중성점 불균형이 발생하는 여러 이유 중 계통 사고에 의해 발생하는 3상 불평형 전압 상황에 대해 연구하였다. 앞서 설명한 대로 계통사고에 의해 3상 불평형의 전압이 컨버터에 인가될 경우, 컨버터에 인가되는 전압에 역상분의 성분이 존재하게 된다. 컨버터에 인가되는 역상분이 제어되지 않을 경우 역상분의 전류가 흐르게 되며, 그로 인해 입력 전류의 THD를 증가시키게 된다. 또한 DC-link 전압의 리플을 발생시키며 중성점 전류의 변동을 초래한다. 따라서 불평형 계통 상황에서는 기존에 사용하는 입력전류의 정상분만을 제어하는 방식이 아닌 역상분까지 제어하기 위한 제어전략이 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 계통에서 여러 사고

Type	Fault Type				Transformer Type		
	1-LG	2-LG	3-LG	LL	Y-Y	D-D	D-Y/Y-D
B	Green				Green		
D	Green					Green	
C	Green						Green
E		Green			Green		
G		Green				Green	
F		Green					Green
A			Green		Green		
A			Green			Green	
A			Green				Green
C				Green		Green	
C				Green			Green
D				Green			Green

Fig. 2. Unbalanced voltage according to transformer types and accidents.

유형에 따라 발생하는 다양한 사고 전압이 계통 연계형 3-레벨 NPC 컨버터의 중성점 전류에 어떠한 영향을 끼치는지 해석하고, 불평형의 전압이 중성점 전류에 미치는 영향을 줄이기 위한 두 가지의 제어 방식을 비교하고자 한다. 기존에 많이 사용되고 있는 입력전류의 정상분만을 제어하는 Single Frame Current Control 방식과 입력전류의 정상분과 역상분을 따로 제어하는 Dual Frame Current Control 방식의 제어 성능을 비교한다.

2. 다양한 종류의 불평형 계통 전압

그림 2는 변압기 권선 타입과 계통 사고에 의해서 발생할 수 있는 불평형 전압의 타입을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 같은 사고 유형이어도 변압기 권선 타입에 따라서 다양한 불평형 전압이 생길 수 있다. 따라서 계통에서 자주 발생하는 지락사고의 경우에도 다양한 불평형 전압 유형으로 나타날 수 있다. 그러므로 다양한 불평형 전압 유형에서의 제어기의 동작에 대한 명

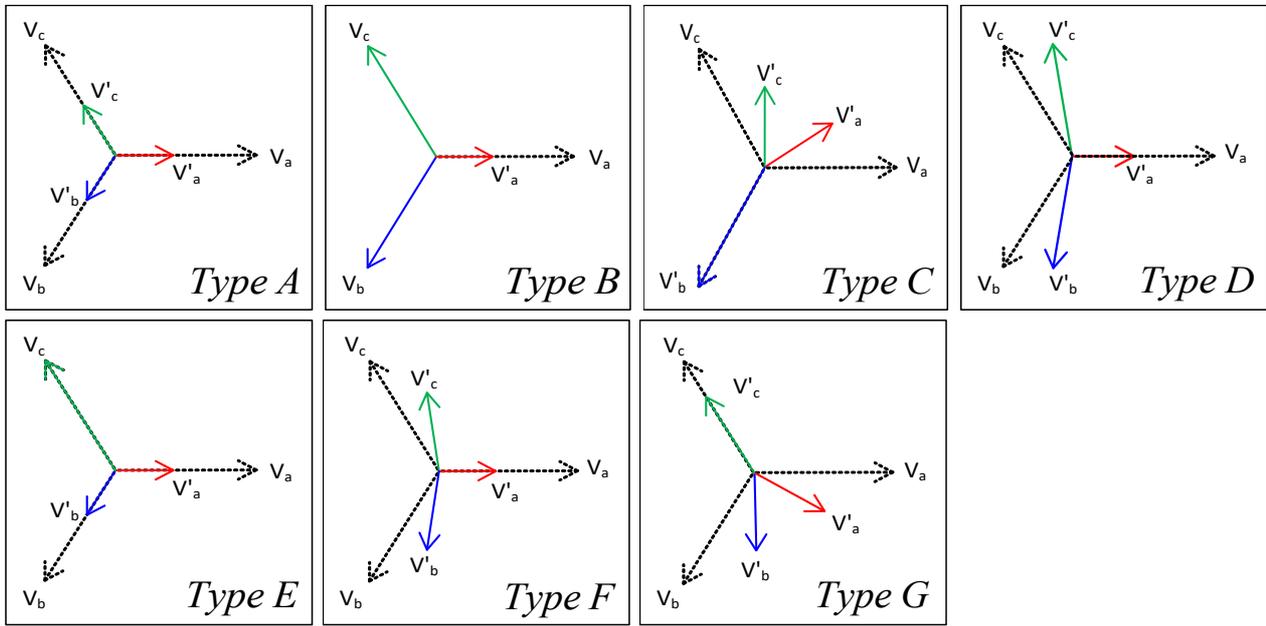


Fig. 3. Vector diagram of unbalanced voltage by ABC classification.

확한 검증이 필요하다. 그림 3은 계통에서 발생할 수 있는 여러 유형의 불평형 계통 전압의 벡터다이아그램을 보여준다. 이와 같은 3상 불평형의 전압은 ABC 분류에 의해서 규정되었다. Type A의 경우 3상의 상전압의 크기가 동일하게 줄어드는 사고 전압이다. 이와 같은 경우 3상의 평형이 깨진 게 아니므로 해석에서 제외한다. 계통 사고 시 발생하는 3상 전압은 위상 또는 크기가 평형이 아니다. 그중 Type B, E의 경우 불평형의 정도가 심해질수록 전압의 크기만 줄어드는 형태로 나타난다. 나머지 Type C, D, F, G의 경우 전압의 크기와 각 상이 이루는 위상까지 틀어지는 형태로 나타난다. 이와 같은 다양한 타입의 3상 불평형 전압을 정상분과 역상분으로 나누어서 보면, 불평형이 심해짐에 따라서 역상분의 성분의 크기가 증가한다.

3. 계통 불평형 상황에서의 Imbalance Factor

그림 2에서 보이듯이 계통 사고에 의해 발생하는 불평형 계통 전압들은 전압의 크기만 감소하거나 전압의 크기 감소와 위상변동이 함께 발생하는 케이스로 각각 다른 형태로 나타난다. 그러나 불평형의 정도가 심해짐에 따라서 역상분의 크기가 증가하는 것은 동일하다. 따라서 본 논문에서는 다양한 불평형 전압들의 불평형 정도를 나타내는 지표인 IF(Imbalance Factor)를 식 (1)과 같이 정의하였다. IF를 활용하여 각각 다른 형태의 불평형 계통 전압에 대한 컨버터의 동작을 보다 일관된 방식으로 비교 할 수 있다. 식 (1)의 E_{dn} 과 E_{qn} 은 입력 전압의 역상분의 d축 성분과 q축을 나타내고, E_{dp} 와 E_{qp} 은 입력전압의 정상분의 d축 성분과 q축 성분을 나타낸다.

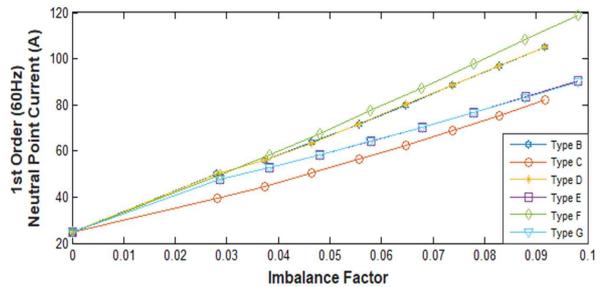


Fig. 4. The amplitude of the fundamental component of the neutral point current according to IF in each unbalanced type.

$$IF(\%) = \frac{\sqrt{E_{dn}^2 + E_{qn}^2}}{\sqrt{E_{dp}^2 + E_{qp}^2} + \sqrt{E_{dn}^2 + E_{qn}^2}} \times 100 \quad (1)$$

그림 4는 5MW급 계통 연계형 3-level NPC 컨버터 시뮬레이션 모델로 측정된 불평형 전압 타입별 IF와 중성점 전류의 60Hz 성분, 즉 중성점 전류의 기본파 성분에 대한 그래프를 보여주고 있다. 그래프에서 보이듯이 각각 불평형 타입에 상관없이 IF가 증가함에 따라서 중성점 전류의 기본파 성분이 비례적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. NPC 컨버터의 중성점전류의 DC 성분의 값이 0일 때 이상적으로 밸런싱이 맞춰졌다고 할 수 있다. 그러나 순시적으로 중성점전류의 값을 보았을 때 중성점 전류의 DC 성분의 값은 항상 0의 값은 아니므로, 측정 시점에 따라서 중성점의 밸런싱 편차 여부를 명확하게 판단하기 어렵다. 따라서 중성점의 밸런싱의 편차 여부를 중성점전류의 기본파 성분인 60Hz 성분을 통하여 근접적으로 확인하였다. 이는 기존 계통 불평형 상황에서 3-레벨 NPC 컨버터에 대한 연구^[1]에서 3상 불평형

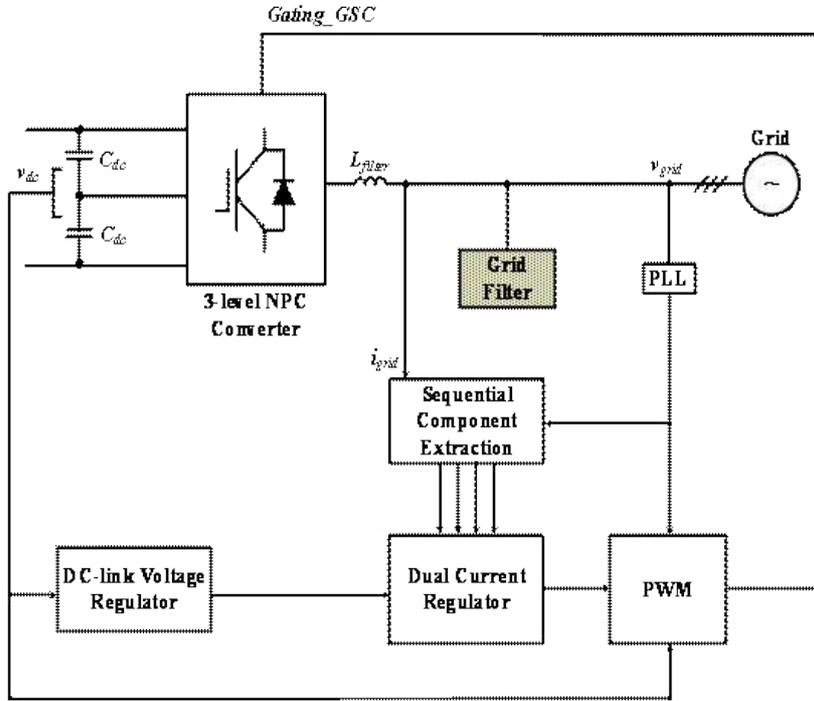


Fig. 5. Overall control block diagram.

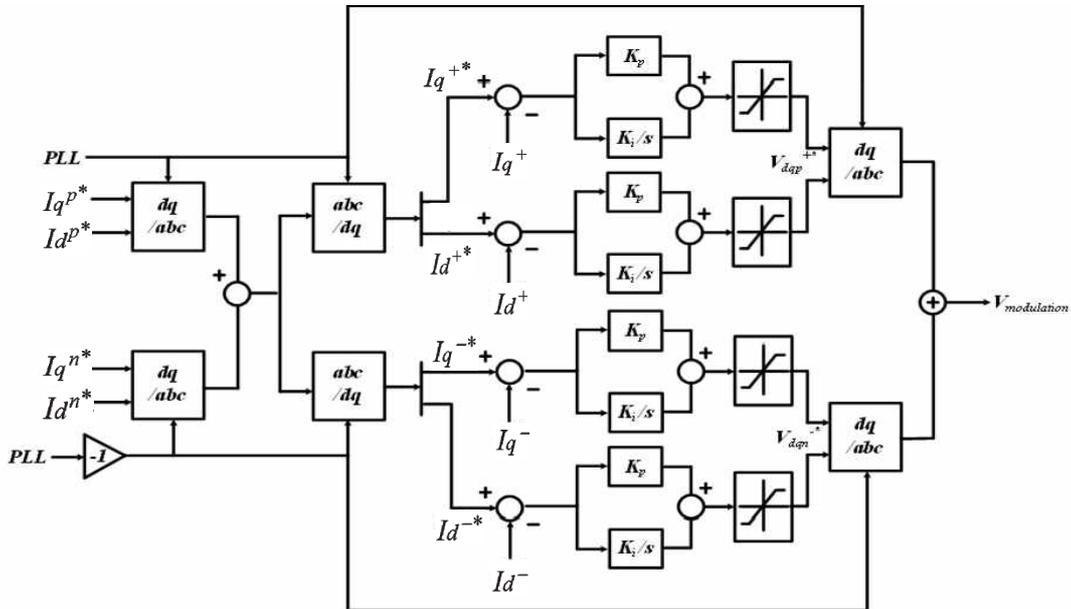


Fig. 6. Dual frame current regulator block diagram.

에 의해 발생하는 중성점 전류의 기본과 성분은 NPC 컨버터의 중성점의 불균형의 발생과 DC-link 전압의 리플의 발생에 관계가 있음을 확인되었다. 따라서 이를 토대로 중성점 전류의 기본과 성분의 크기는 3상 불평형의 전압이 3-레벨 NPC 컨버터에 미치는 영향을 대변할 수 있다고 판단할 수 있다. 그러므로 계통 사고에 의한 3상 불평형의 전압이 컨버터에 미치는 영향은 중성점 전류의 기본과 성분의 크기를 줄임으로써 감소시킬 수 있다.

4. 계통 불평형 상황에서의 제어 전략

4장에서는 다양한 불평형 상황에서 3-level NPC 컨버터의 중성점 전류의 기본과 성분을 효과적으로 감소시키기 위한 제어 방식을 설명한다. 그림 5는 전체적인 제어 블록다이어그램이다. 외부 전압 제어루프와 내부 전류 제어루프로 구성하였다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 외부 DC-link 전압 제어기의 출력인 dq-축 동기좌표계 정상분과 역상분의 전류 레퍼런스 I_d^{p*} , I_q^{p*} , I_d^{n*} , I_q^{n*} 을 입

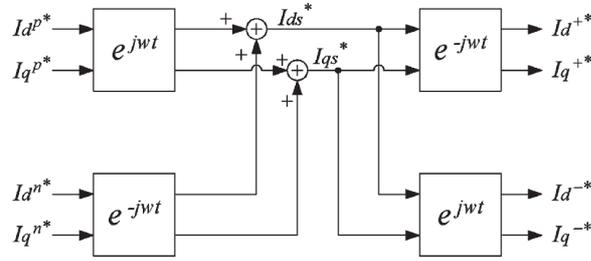


Fig. 7. Reference frame transformation block.

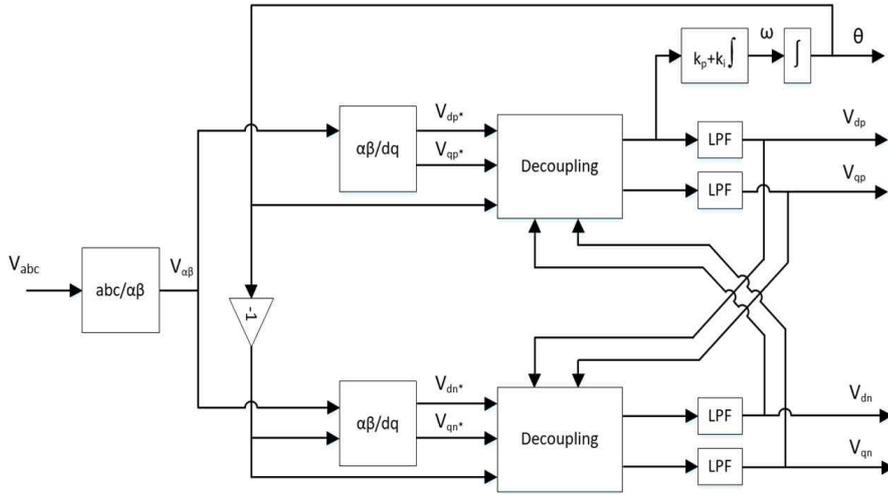


Fig. 8. DDSRF-PLL block diagram.

력으로 받는다. 식 (2)~(5)는 $(I_d^p, I_q^p, I_d^n, I_q^n)$ 과 $(I_d^+, I_q^+, I_d^-, I_q^-)$ 에 대한 식을 보여준다. I_d^+ 은 I_d 의 정상분의 DC 성분뿐만 아니라 2고조파의 AC 성분을 포함한다. 따라서 측정된 3상 입력전류의 dq-축 동기좌표계 정상분과 역상분의 성분인 $I_d^+, I_q^+, I_d^-, I_q^-$ 와 매칭시키기 위하여 중간에 그림 7과 같은 프레임 변환 블록을 사용하였다. 이후 내부 전류제어기에서 전류 레퍼런스와 dq-축 동기좌표계로 추출된 측정 입력전류를 비교하는 Dual Frame Current Control 방식으로 구성되어 있다.

$$I_d^+ = I_d^p + \cos(2\omega t)I_d^n + \sin(2\omega t)I_q^n \quad (2)$$

$$I_q^+ = I_q^p + \cos(2\omega t)I_q^n - \sin(2\omega t)I_d^n \quad (3)$$

$$I_d^- = I_d^n + \cos(2\omega t)I_d^p - \sin(2\omega t)I_q^p \quad (4)$$

$$I_q^- = I_q^n + \cos(2\omega t)I_q^p + \sin(2\omega t)I_d^p \quad (5)$$

Dual Frame Current Control 방식의 역상분 전류 제어기는 역상분 성분의 전류를 0로 하는 데 목적이 있다. 따라서 불평형 계통전압의 역상분 성분과 동일한 역상분 성분의 pole 전압을 스위칭을 통해 생성하여 결과적으로 역상분 성분의 전류를 흐르지 않게 한다.

PWM(Pulse Width Modulation) 방식은 일반적으로 사용하는 Carrier-based PWM방식을 사용하였다. 그림 8은 제어기에 사용한 DDSRF-PLL(Decoupled Double

TABLE 1
EXPERIMENT PARAMETERS

Parameters	Values
Rated power	1960 W
Rated line voltage	380 V
Rated AC input current	4.2 A
Frequency	60 Hz
DC link voltage	700 V
DC link capacitance	1.23 mF
Converter switching frequency	10 kHz
Grid side line inductance	4.5 mH

Synchronous Reference Frame - PLL)의 블록다이어그램이다. 입력 3상 전압을 동기좌표계 dq-축의 정상분과 역상분으로 분리하고, 정상분의 d축 값을 0로 제어하여 정상분에 위상을 추종하도록 설계하였다. 사고 전압의 IF가 커질수록 역상분의 크기는 증가하게 되지만 DDSRF-PLL은 Decoupling을 과정을 통해 dq-축 동기좌표계에서 정상분의 성분 중 정상분의 DC 성분을 추출하고 역상분에 의한 리플성분을 제거함으로써, 역상분에 의한 영향을 줄인 정상분의 전압에 위상을 동기화하게 된다. 따라서 사고 전압에 의한 위상변동으로 생기는 제어기의 오류를 최소화할 수 있다.

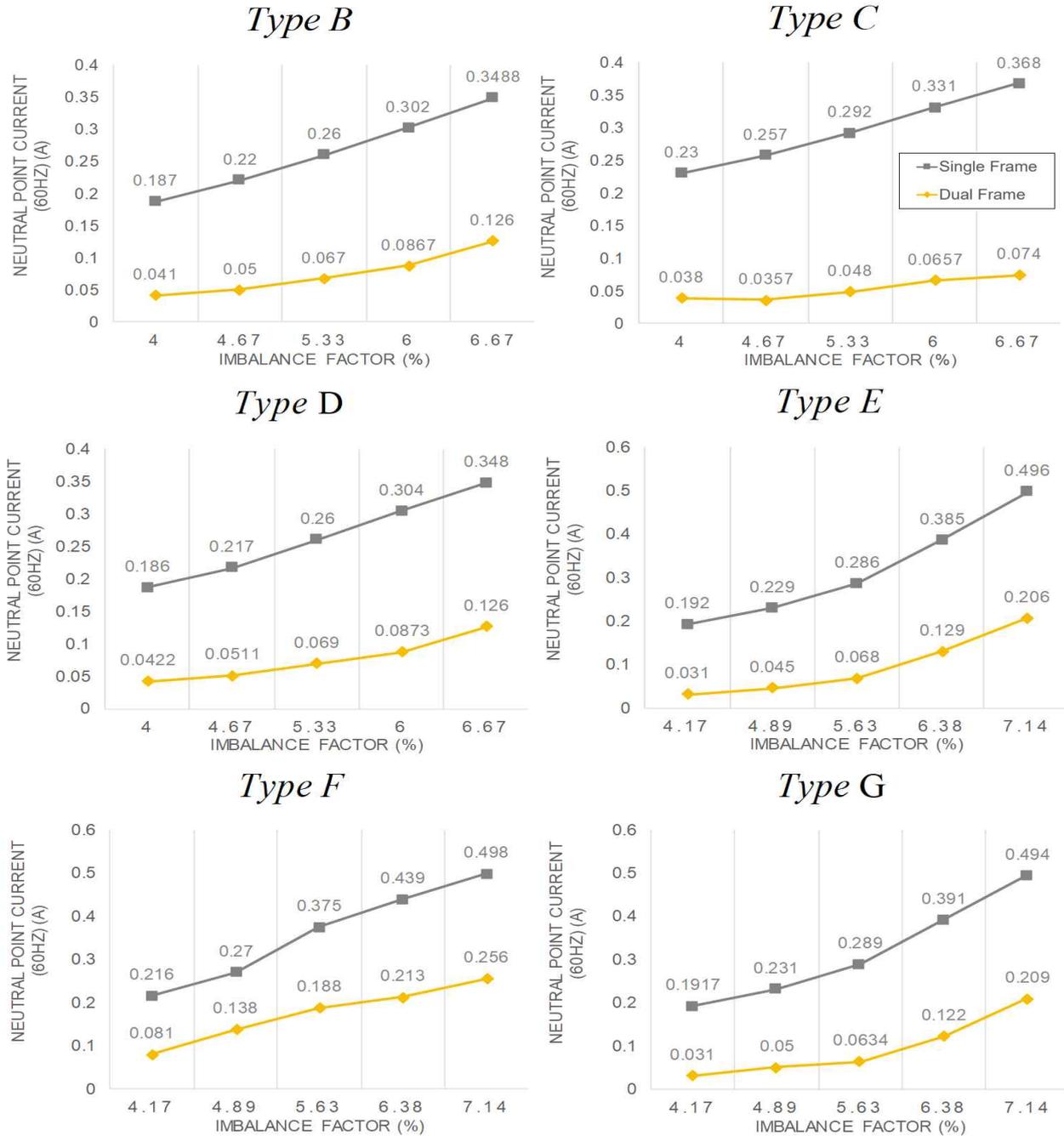


Fig. 9. Fundamental component of the neutral point current [A] vs. Imbalance Factor [%] under unbalanced 3-phase conditions using single frame current control method and dual frame current control method.

기준에 일반적으로 사용하는 Single Frame Current Control 방식은 3상 불평형 전압에 의해 발생하는 입력 전류의 역상분을 제어하지 않기 때문에 입력전류에 역상분의 성분이 남아있게 된다. 반면에 Dual Frame Current Control 방식은 입력전류의 역상분을 0으로 제어할 수 있기 때문에 중성점 전류의 고조파 성분, 특히 입력전류의 THD와 DC-link 전압의 리플의 주요 원인인 중성점 전류의 기본파 성분을 감소시킬 수 있다. 보다 정확한 제어 성능의 검증을 위해 다양한 불평형 전압 상황에서 두 제어 방식의 성능 비교를 진행하였다.

5. 실험 검증

실험은 실시간 시뮬레이터인 Typhoon-HILS를 이용하였고, 회로 구성 및 제어기는 Typhoon-HILS 내부에 구성하여 HILS의 input/output 포트를 사용하여 실험을 진행하였다. 실험 조건은 표 1과 같다.

제어 성능의 비교를 위해 Single Frame Current Control 방식과 Dual Frame Current Control 방식으로 각각 실험을 진행하였고, 그림 9는 제어방식에 따른 IF 대비 중성점 전류의 기본파 성분의 크기를 보여주고 있다.

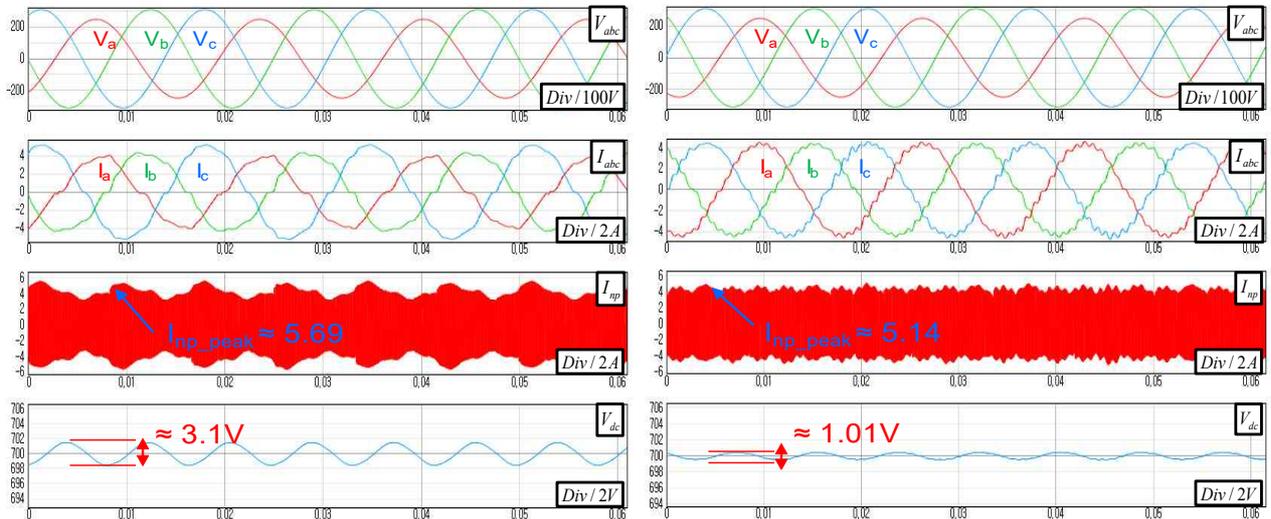


Fig. 10. Waveforms of input voltage, input current, neutral point current, and DC-link voltage under unbalanced grid condition [Type B, IF=7%] using single frame current control method [left] and dual frame current control method [right].

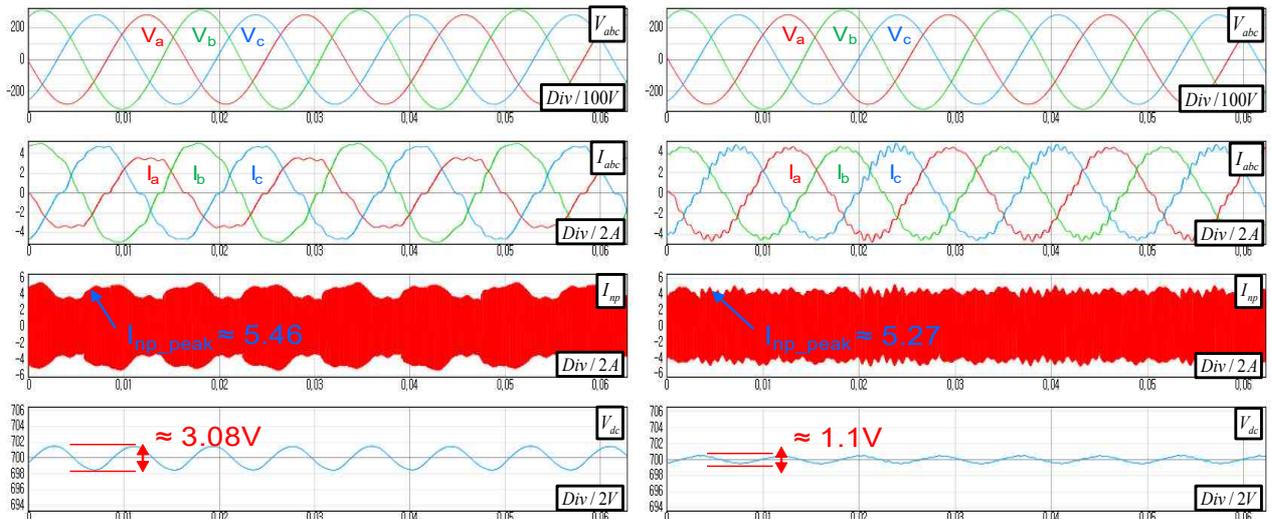


Fig. 11. Waveforms of input voltage, input current, neutral point current, and DC-link voltage under unbalanced grid condition [Type C, IF=7%] using single frame current control method [left] and dual frame current control method [right].

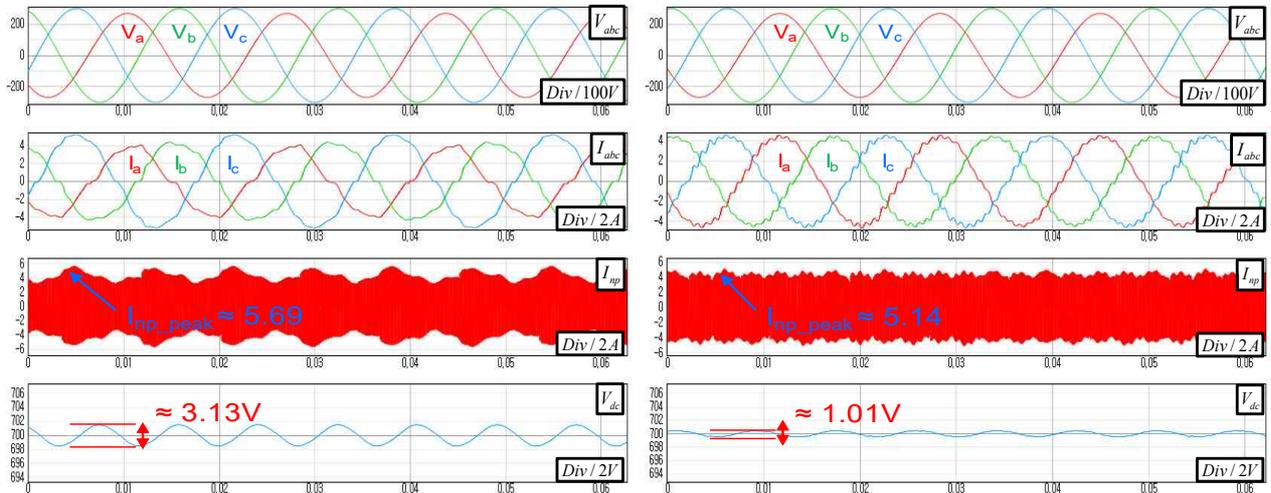


Fig. 12. Waveforms of input voltage, input current, neutral point current, and DC-link voltage under unbalanced grid condition [Type D, IF=7%] using single frame current control method [left] and dual frame current control method [right].

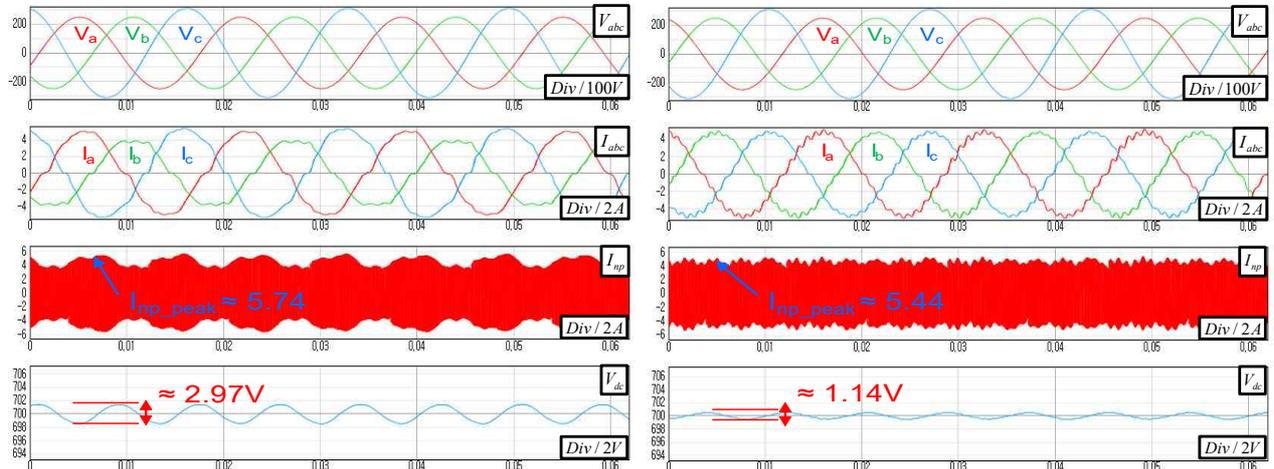


Fig. 13. Waveforms of input voltage, input current, neutral point current, and DC-link voltage under unbalanced grid condition [Type E, IF=7%] using single frame current control method [left] and dual frame current control method [right].

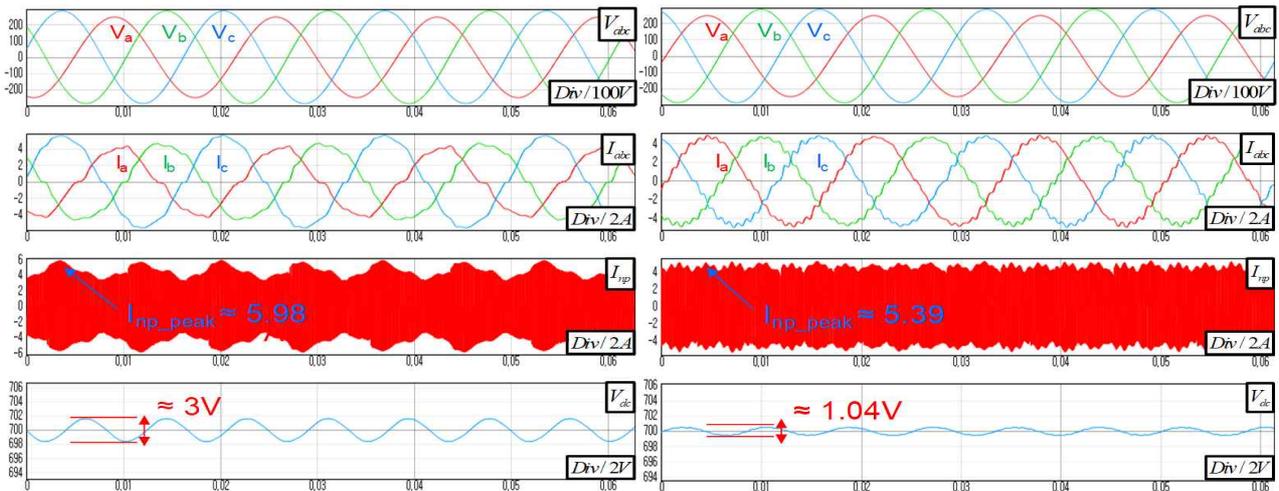


Fig. 14. Waveforms of input voltage, input current, neutral point current, and DC-link voltage under unbalanced grid condition [Type F, IF=7%] using single frame current control method [left] and dual frame current control method [right].

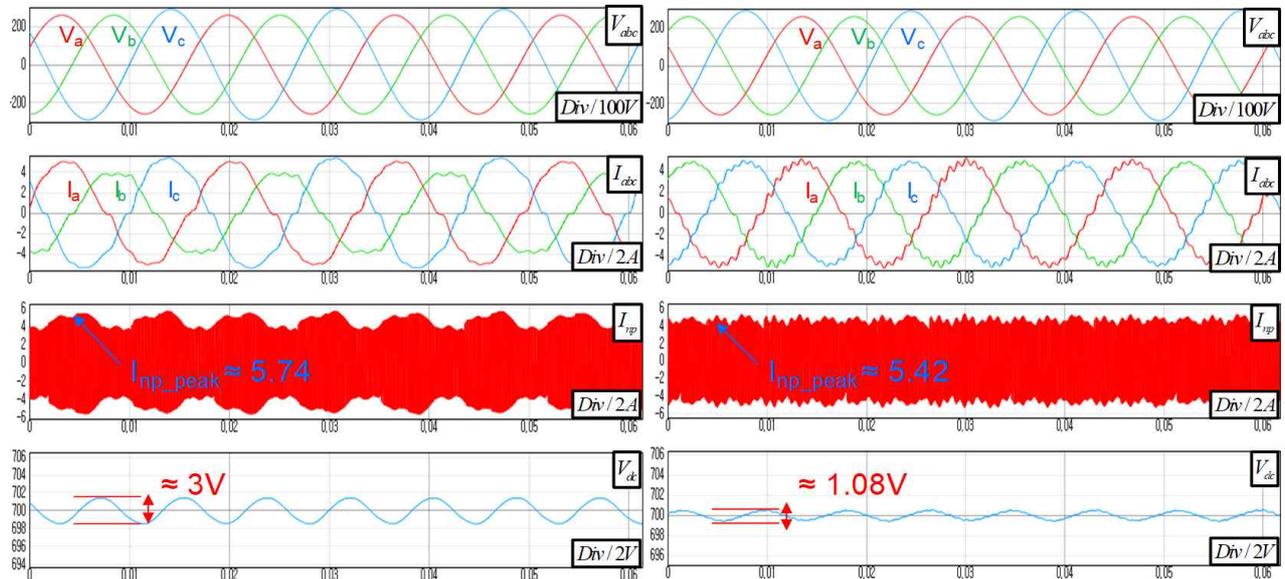


Fig. 15. Waveforms of input voltage, input current, neutral point current, and DC-link voltage under unbalanced grid condition [Type G, IF=7%] using single frame current control method [left] and dual frame current control method [right].

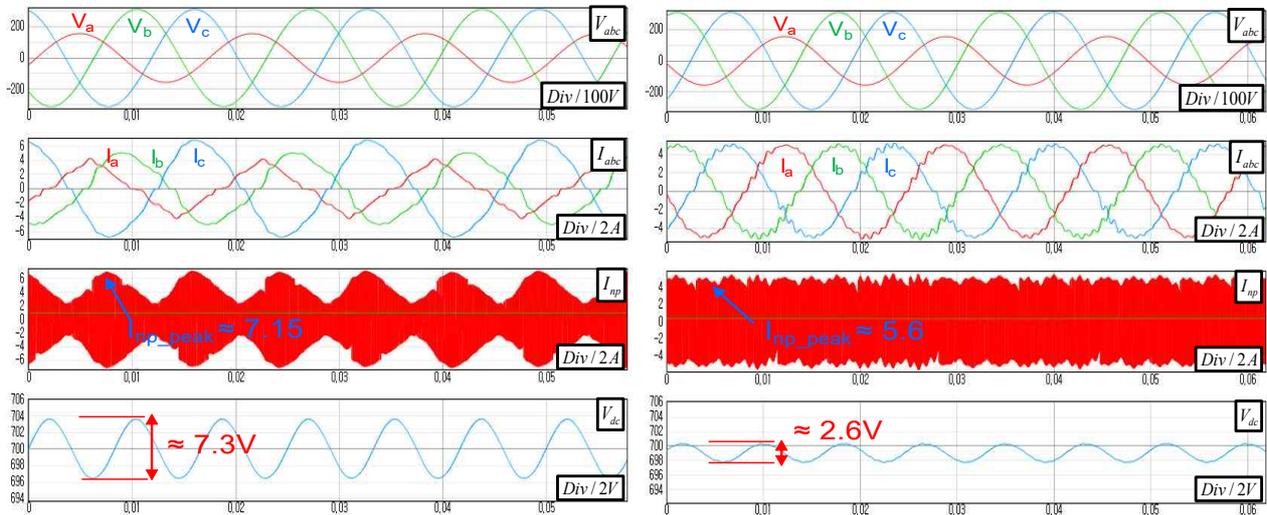


Fig. 16. Waveforms of input voltage, input current, neutral point current, and DC-link voltage under unbalanced grid condition [Type B, IF=17%] using single frame current control method [left] and dual frame current control method [right].

중성점 전류의 기본과 성분을 비교해 보면, Dual Frame Current Control 방식을 사용하였을 때 중성점 전류의 기본과 성분이 평균적으로 Type B에서 73%, Type C에서 82%, Type D에서 72%, Type E에서 73%, Type F에서 52%, Type G에서 73%가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

추가적으로, 중성점 전류의 기본과 성분의 감소가 컨버터에 미치는 영향을 보다 정확히 검증하기 위해 각각 제어 방식을 사용하였을 때 컨버터의 입력전류 및 DC-link 전압의 리플을 확인하였다. 그림 10에서 15는 다양한 불평형 전압에서 실험 파형이다. 불평형 전압 조건은 실제 계통에서 발생할 수 있는 수준으로 실험하였다. 중성점 전류의 기본과 성분을 감소시키는 Dual Frame Current Control 방식을 사용함으로써, 각 불평형 상황에 평균적으로 입력 전류의 THD가 약 2% 감소하고 DC-link 전압의 리플 성분은 peak-to-peak 약 2V 감소하였다. 실험에 사용한 불평형 조건은 실제 계통에서 발생할 수 있는 일반적인 수준의 불평형 조건으로 진행하였고, 불평형 조건이 더욱 심해질수록 그림 16과 같이 확연한 제어 성능의 차이를 보인다.

6. 결 론

본 논문은 계통 사고에 의한 3상 불평형의 전압이 인가되는 계통 연계형 3-레벨 NPC 컨버터의 중성점 전류의 변동에 대한 해석 및 제어에 대해 서술하였다. 3상 불평형 전압은 ABC classification으로 7가지 타입으로 분류 할 수 있고, Imbalance Factor를 사용하여 7가지 타입의 불평형 전압이 컨버터에 미치는 영향을 일관된 방식으로 비교하였다. 또한 다양한 불평형 계통 조건에서 Dual Frame Current Control 방식 이용하여 중성점 전류의 기본과 성분을 낮출 수 있다는 것을 증명하였고,

중성점 전류의 기본과 성분이 감소하면서 컨버터의 입력전류의 THD가 명확하게 감소하고, DC-link 전압의 리플 성분 또한 감소하는 것을 증명하였다.

본 연구는 한국전력공사의 2018년 착수 에너지 거점대학 클러스터 사업에 의해 지원되었음. (과제 번호: R18XA04)

References

- [1] K. Jung and Y. Suh, "Compensation of neutral point deviation under generalized 3-phase imbalance in 3-level NPC converters," *Journal of Power Electronics*, Vol. 18, No. 6, pp. 1866-1878, Nov. 2018.
- [2] Y. Suh, Y. Go, and D. Roh, "A comparative study on control algorithm for active front-end rectifier of large motor drives under unbalanced input," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 47, No. 3, pp. 1419-1431, May/June. 2011.
- [3] H. S. Song and K. H. Nam, "Dual current control scheme for PWM converter under unbalanced input voltage conditions," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 46, No. 5, pp. 953-959, Oct. 1999.
- [4] Y. Suh and T. A. Lipo, "Control scheme in hybrid synchronous stationary frame for PWM AC/DC converter under generalized unbalanced operating conditions," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 46, No. 3, pp. 825-835, June. 2006.
- [5] Y. H. Yoo, N. J. Ku, and D. S. Hyun, "The control algorithm of three-level NPC inverter under unbalanced input voltage conditions," in *Conf. IEEE Vehicle Power and Propulsion, Coimbra, Portugal*, pp. 1-5, Oct. 2014.

- [6] Z. Zhang and R. Kennel, "Direct model predictive control of three-level NPC back-to-back power converter PMSG wind turbine systems under unbalanced grid," in *Conf IEEE PRECEDE, Valparaiso, Chile*, pp. 97-102, Oct. 2015.
- [7] C. Wang and Y. Li, "Analysis and calculation of zero-sequence voltage considering neutral-point potential balancing in three-level NPC converter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 57, No. 7, pp. 2262-2271, Jul. 2010.
- [8] N. Celanovic and D. Boroyevich, "A comprehensive study of neutral-point voltage balancing problem in three-level neutral-point-clamped voltage source PWM inverters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 15, No. 2, pp. 242-249, 2000.
- [9] P. Rodríguez, J. Pou, J. Bergas, J. I. Candela, R. P. Burgos, and D. Boroyevich, "Decoupled double synchronous reference frame PLL for power converters control," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 22, No. 2, pp. 584-592, Mar. 2007.
- [10] R. C. Dugan, M. F. Mcgranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, *Electrical power systems quality: Second edition*, McGraw-Hill Publishing Company, Inc., pp. 53-55, 2004.
- [11] R. Leborgne, "Voltage sags characterisation and estimation," *Master's thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden*, 2005.



최재훈(崔在勳)

2018년 전북대 전기공학과 졸업. 2020년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2020년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



서용석(徐庸碩)

1991년 연세대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 미 위스콘신 주립대 전기 컴퓨터 공학과 졸업(공학). 1993년~1998년 삼성전자 반도체 총괄 전력전자 사업부 시스템 어플리케이션 엔지니어. 2004년~2008년 스위스 ABB 고압 드라이브 및 전력 전자 부문 수석 엔지니어. 2008년~현재 전북대 전기공학과 교수. 당 학회 국제이사.