

IDC(Internet Data Center) 전원기기 고조파 분석 및 다상화 효과 고찰

(Analysis of Harmonics Waveform Distortion for IDC(Internet Data Center) Power System
and effect of multi-Phase)

서정석* · 이상중 · 이희영 · 박정규

(Jeong - Suk Seo · Sang - joong Lee · Hee - Young Lee · Joung - Kyu Park)

요 약

정보화 사회가 급속히 확산됨에 따라 국내의 비즈니스 환경 역시 급변하고 있다. 또한 분명한 서비스 품질 향상과 신뢰성의 확보를 위하여 국내의 IDC 사업자는 SLAs(Service Level Agreements) 제도를 시행 또는 추진하고 있다. 인터넷 서버, 계통 및 UPS등에 의한 전원품질은 인터넷 서비스 품질을 결정짓는 주요한 요소의 하나가 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 국내 IDC의 고조파 실태를 측정 분석하였고, 다상화(Multi-Phase)를 통한 고조파 저감 효과를 검증하였다.

Abstract

As Information society has expanded in large scale. In order to improve the reliability and Qos(Quality of service), domestic IDC(Internet Data Center) has adopted or will adopt the SLAs(Service Level Agreements). The power quality of internet hosting server unit, power system and UPS is very important for better internet service. Therefore, the higher reliability of power system is imperative for satisfying SLAs. This paper presents the status measurement of domestic IDCs harmonics and illustrates the reduction effect of harmonics through the multi-phase.

Key Words : Internet Data Center, Ups, Distortion Ampere-Voltage, Power Distribution Rack, Service Level Agreements

1. 서 론

최근 IDC 사업자는 집적정보통신시설[1]의 품질보증제의 하나인 SLAs, 즉 서비스 품질보증 체결로 고

객에게 신뢰성 확보에 노력하고 있으며, 이는 미국 통신사업자를 중심으로 IT(정보기술) 전반에 도입 시행되고 있다. 이와 함께 국내 산업계에도 점차적으로 도입이 증가하는 추세이며, 정보통신부는 2002년 8월부터 세계 최초로 초고속 인터넷 서비스 분야 [2]에 SLAs를 시행한다고 밝힌바 있다. 이러한 품질의 중요성을 고려할 때 초기의 무정전 개념에서 현대는 고품질의 전원을 이용한 인터넷 서비스 품질의 신뢰성

* 주저자 : 서울산업대학교 전기공학과 석사과정

E-mail : hunmin@kt.co.kr.

Tel : 031-788-0050, Fax : 031-788-0055

접수일자 : 2002년 9월 13일

1차심사 : 2002년 9월 18일

심사완료 : 2002년 10월 10일

과 안정성이 절실히 요구되고 있다. 또한 국내 통신용 전원의 고조파에 대한 연구가 미흡한 상태이며, 실시간 고조파에 대한 관리 또한 이루어지지 않고 있다. 따라서 IDC의 주요 부하체인 네트워크 장비의 고조파 발생과 아울러 계통, 서버(Clients) 전원공급장비인 UPS등에서 발생하는 고조파 발생의 분석과 대책이 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 최근 고조파 발생을 최소화하기 위한 목적이 고려된 외국 IDC 전원 시스템의 다양성을 소개하고 고조파 저감의 한 방법으로 다상화[3]를 실험을 통하여 구현함으로써 고조파 저감효과 및 효율성을 검증하였다[4~6].

2. IDC 전원 시스템의 특성

전력계통의 사고로부터 주요 인터넷 시스템을 지키기 위해서는 무엇보다도 무정전 시스템의 신뢰성 확보와 안정성, 그리고 경제적인 운영의 마인드가 필요하다. 네트워크장비, 서버(Clients)는 3~10[ms]이 내의 무순단 조건을 만족해야 하며 이를 보장하기 위해서는 전원시설 구성 측면에서도 수전방식, 배전방식, 백업전원을 고려한 전원시스템 구성, 운용의 자동화, 무보수화, 보수의 고도화, 부하운용의 탄력성 및 경제성등 종합적인 검토를 바탕으로 정보통신 기기와 매치 되는 전원 시스템 구성이 필수적이라 할 수 있다. 네트워크장비 및 서버(Clients)의 특징 중 하나는 순시전압강하, 순간정전이 10ms이상의 경우 CPU의 실행중인 data는 상실하게 된다[7]. 이를 보완하기 위하여 정전감지 신호발신 장치가 내장된 서버의 경우 일정시간 후 자동복귀 되고 실행중인 data는 메모리에 일시 저장기능을 갖는 서버종류도 있지만 중요한 점은 고조파에 의한 영향이 곧 인터넷 서비스의 품질을 결정짓는 중요한 요인이 되고 있다는 것이다.

2.1 국내외 IDC UPS의 전원공급 구성

IDC의 용도별 전원구성은 네트워크 스위칭, 서버(Clients) 전원용 UPS와 냉방 시스템으로 구성된다. 이는 스위칭, Server 및 UPS에서 발생하는 고조파로 인하여 발생하는 발열이 냉방설비 설치에 직접적인 요인이 되고 있으므로 고조파의 저감은 곧 발열의 요인을 최소화 할 수 있고, 따라서 냉방설비의 적정 투

자와 운용의 합리화에 크게 기여 할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 최근 국내의 IDC는 UPS 계통구성을 개선함으로써 고조파에 의한 영향을 최소화 하려는 연구가 진행되는 추세이며, 특징은 다음과 같다.

2.1.1 국내 IDC의 일반적 서버 전원 구성

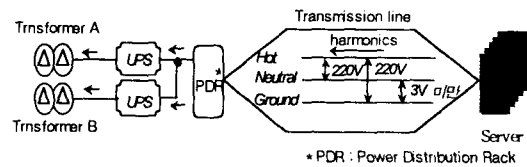


그림 1. IDC의 일반적 서버(Server) 전원 구성
Fig. 1. The general structure of UPS transmission in IDC

그림 1은 국내 IDC의 일반적인 스위칭, 서버 전원의 구성 모델로 이러한 상시상용 UPS 운전 모드의 병렬 운전(parallel redundant) 형태는 일반적이며, 주/예비(master/slave) 운용시 단점중의 하나가 제어부의 에러는 곧 정전으로 이어져 이로 인한 경제적 손실과 신뢰성 저하의 요인이 되어 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점이 보완된 구성은 그림 2와 같다.

2.1.2 전원의 이원화(Multiple-Sources)

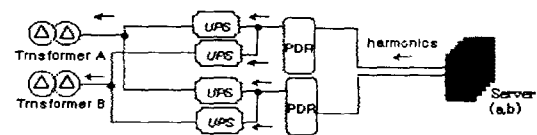


그림 2. 전원공급의 이원화 구조
Fig. 2. Structure of multiple power sources

2.1.3 STS(Static Transfer Switch)채택

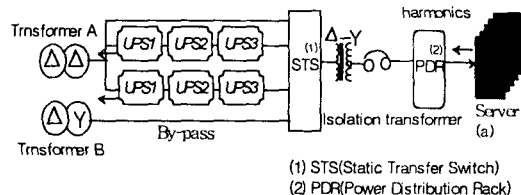


그림 3. 2차측 절연변압기 채택된 구조
Fig. 3. Structure of multiple power sources and high isolation transformer

2.1.4 병렬제어반 채택 구성

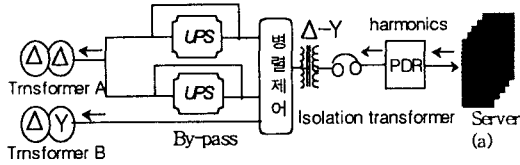


그림 4. 2차측 절연변압기 및 병렬제어반을 채택한 구조
Fig. 4. Structure adopting the secondary isolation TR and parallel power distribution rack

2.1.5 전원 구성별 고조파 발생 특성

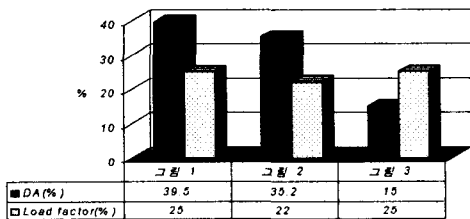


그림 5. 전원구성별 전류 왜형률 특성 비교
Fig. 5. The comparative characteristic of DA(%)

IDC 전원의 신뢰성 확보를 위하여 다양한 방법으로 스위칭, 서버전원 공급용 UPS 시스템 구성이 연구 및 적용되고 있다. 이러한 측면에서 연구에 초점이 되고 있는 것은 고조파의 최소화화 및 시스템의 안정성, 그리고 신뢰성 등이 고려되고 있으며, 또한 경제성(그림 2에서 PDR을 기준으로 2차측은 2배선 (a), (b), 그림 3의 2차측 배선은 STS(Static Transfer Switch)를 기준으로 1 line(a)이 고려된 시스템 구성이 추구되고 있다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 대형 인터넷 서버 1차 입력전원을 그림2와 같이 이원화의 구조적인 적용과 STS를 채용한 무순단 전원공급(그림 3), 그리고 UPS 1차측 또는 2차측에 고조파 내량을 고려한 절연변압기를 채용한 것이 특징이라 할 수 있다. 이는 무순단(4ms이내) 절체기능을 통한 신뢰성 향상과 1차 또는 2차측에 유입, 유출되는 고조파분을 1:1 절연변압기를 사용함으로써 2차측 발생 고조파의 1차측 유입방지 효과를 기대 할 수 있다. 이것은 고조파 전류 발생의 저감을 위한 기본적인 저감방법의 하나로 3상 브리지 정류기에서 입력측과 출력측에 리액터를

설치하는 원리와 같은 방법으로 5차 고조파를 예로 들면 리액터가 없을 때는 65%, 교류측에만 설치하였을 때 38%, 직류측에 설치하였을 때 30%, 교류, 직류측 모두에 설치하였을 때 28%로 고조파 전류가 저감되는 효과를 얻을 수 있다.

2.2 UPS의 고조파 저감효과

대형 IDC에서의 전원사고 유형은 대부분 기기 소손, 오동작, 제어기능 상실로 인한 정전, 상용전원과 UPS 인버터 출력전압과의 동기이상에 의한 절체 불가능 등 다양한 원인이 있지만 고조파에 의한 가장 큰 피해 영향은 직렬 리액터 소손과 콘덴서의 누액, 소손, 소음 등으로서 이의 파급은 곧 대형서버의 정전으로 이어지고 있다. 따라서 이러한 장애의 요인이 되고 있는 서버 전원공급용 UPS의 고조파 분석과 저감방법의 개선이 절실히 요구되고 있다. UPS 시스템은 SCR, IGBT 등 고속 스위칭 소자를 사용하여 AC-DC-AC의 변환을 거듭하면서 고조파를 발생하게 된다. 여기서 DC-AC(Inverter)의 파형은 방형파를 발생하게 되는데 정현파의 파형을 갖추기 위해서는 부하의 공진, LC 필터에 의한 고조파 감쇄, 최적필스폭의 선정과 LC 필터, 다중인버터의 상대 위상차의 제어, PWM, 특정고조파 제거 등의 방법을 고려할 수 있다. 본 논문에서는 다중펄스제어와 위상제어 및 LC필터에 대한 고조파 감쇄율을 소개한다.

2.2.1 고조파 저감용 필터의 특성

그림 6의 a)는 다중화 필터(12-pulse)의 구성으로서 변압기 결선은 소형의 경우 UPS 내부에 내장할 수 있으나 대형의 경우 별도로 입력측에 설치하게 된다. 다중펄스(12-Pulse) 필터의 고조파 감쇄율은 5차, 7차, 9차의 전류 왜형률(DA%) $\approx 10\sim 12(\%)$ 이며, 11차, 13차는 오히려 6-pulse 비하여 증가하는 것으로 나타났다. 이의 원리는 정류기 입력전류가 델타-델타 구조에서는 단순한 장방형파이나 델타-와이 측에서는 30도의 위상차에 의한 전류파형이 되어 양자를 합치면 5차, 7차 성분을 포함하지 않는 12펄스의 전류가 되기 때문이다[8~11]. 그림 6의 b)는 2대 이상의 병렬운전 형태의 UPS 입력측에 UPS(3대-1대)의 변압기를 채택하여 사용된 그림으로 각각의 변압기에 위

상차를 이용하는 원리로서 3대 병렬운전방식을 보여 주고 있다 그림 6의 b)에서 위상제어에 의한 고조파 감쇄율은 5차, 7차, 11차, 13차($6n \pm 1$)에서 고조파 전류 왜형율(DA%) $\approx 4 \sim 5(\%)$ 까지 감쇄할 수 있다.

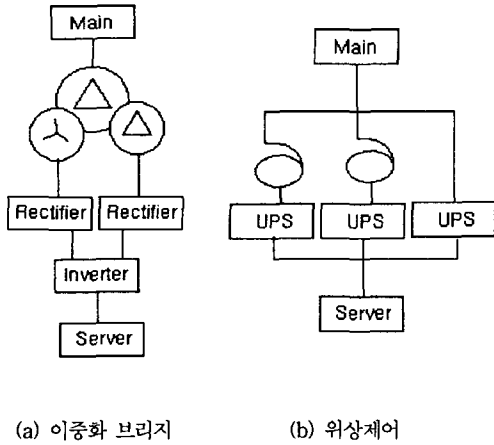


그림 6. 고조파 저감 필터 구성도
 Fig. 6. Schematic diagram of harmonic filters
 (a) double-bridge harmonics filter(12-pulse)
 (b) phase-shifting control

2.2.2 LC 필터

그림 7에서와 같이 LC 필터는 6-pulse 정류방식의 UPS에서 가장 많이 발생하는 5차 고조파 제거에 유용하며, 부분적으로는 7차, 11차, 13차의 고조파를 다소 억제할 수 있다. 특히 120° 의 펄스인 경우 3차는 "0"으로 특정 고조파를 제거 할 수 있다. 현재 일반적으로 적용되고 있는 LC 필터의 모델 및 필터 유무에 따른 특성을 비교 분석한 결과로서 그림 8의 스펙트럼은 고조파 저감을 위한 LC 필터의 유무에 따른 비교 특성을 나타낸다. UPS 용량은 500[kVA] 1대를 선정하였고, 운용상태(부하전류 22%) 경우로서 측정방법은 정상상태에서 일정한 간격을 두고 LC 필터 개로 및 폐로를 반복한 평균적 결과를 나타낸다. 측정을 통하여 알 수 있는 것은 LC 필터 개로시에 비하여 폐로시 평균 50(%)의 고조파 저감율을 보였으나, 기본적으로 고조파 필터의 설계가 100%의 부하를 고려하여 설계되는 것을 감안 할 때 부하율이 50(%) 미만의 운용을 조건에서는 큰 효과를 기대할 수 없다는 것을 알 수 있다. 왜냐하면 저부하 운전시 LC 충전전류의

과다로 인한 손실은 물론 직렬 리액터의 소손과 콘덴서의 소손 등 문제점이 발생할 가능성이 있으므로 대용량에서 부적절 하다고 볼 수 있다. 또한 1차측 전압 상승의 원인이 되어 1차측 차단기가 차단되는 결과를 초래하기도 한다.

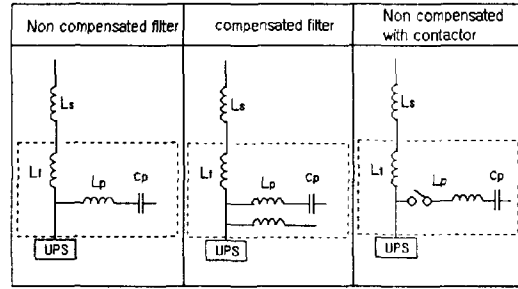


그림 7. LC 고조파 필터
 Fig. 7. Structure of LC filter circuits

표 1. LC 필터 유무에 따른 고조파 발생 특성(무부하)
 Table 1. Comparative characteristics of LC filter harmonics with and without (without load)

1. Without LC Filter

| Harmonic | Limit | Measurement | | | Remark |
|----------|-------|-------------|-------|-------|------------------------------|
| | | R | S | T | |
| DA(%) | 35 | 127.6 | 128.9 | 121.7 | Max: 93.9(%) Min: 86.7(%) |

2. LC Filter

| Harmonic | Limit | Measurement | | | Remark |
|----------|-------|-------------|------|------|-----------------------------|
| | | R | S | T | |
| DA(%) | 6 | 16.3 | 12.2 | 15.5 | Max: 10.3(%) Min: 6.2(%) |

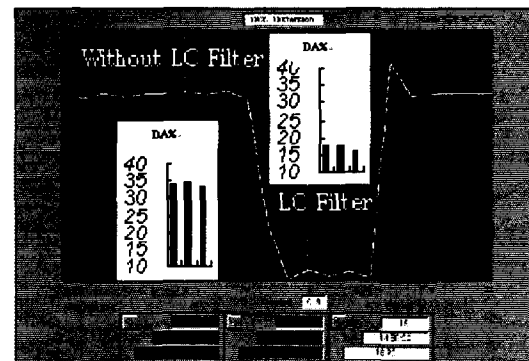


그림 8. LC 고조파 필터 유무에 따른 비교 특성 (부하 22%)
 Fig. 8. Comparative characteristics of LC with and without filter (load factor 22%)

3. IDC 기기 고조파 측정

3.1 측정방법

IDC 네트워크 시설 및 계통의 고조파 측정은 개별 서버 유닛과 이들 개별 유닛군에 공급되는 전원분전반(PDR) 그리고 전원 분전반(PDR)에 입력 전원을 공급하는 UPS까지 시설별, 계통별[12]로 고조파의 특성을 측정 분석함으로써 IDC에서 가장 많이 발생되는 고조파와 그 함유량을 측정 분석하였다.



그림 9. 고조파 측정 장면
Fig. 9. Configuration diagram of measuring harmonics

3.2 측정기 제원

측정계기는 Digital Power Analyzer(Italy)로서 측정 정확도(정확도) 0.5%(표준계측기 Rotek Inc Model 8000의 비교시험)의 분석기를 사용하였으며, 512kb의 기억장치(memory pack parallel interface)를 이용하여 정밀 측정, 분석할 수 있었다.

3.3 측정방법 및 결과

측정장소의 선정은 집적정보통신시설 보호지침[1]에 의한 집적정보통신시설 기준조건에 근접되는 국내 대형 IDC를 선별하여 선정하였으며, 측정 위치는 그림10과 같이 서버유닛(A~C), 계통(D), UPS(E)등으로 구분하였고, 실 부하 운용조건(평균 부하율 25%)에서 고조파를 측정, 분석하였다.

표 2. 기가스위치 라우터(측정지점“A”) 측정치
Table 2. Measured values for GSR (point “A”)

| Server Name | 시설명 | Rating(V/A) | DV(%) | DA(%) | Neutral DA(%) |
|-------------|------------|-------------|-------|-------|---------------|
| GSR | Cisco2000s | 200-240V/5A | 3.38 | 12.26 | 12.26 |

표 3. 중계 스위치(측정지점“B”) 측정치
Table 3. Measured values for relay switch (point“B”)

| Server Name | 시설명 | Rating(V/A) | DV(%) | DA(%) | Neutral DA(%) |
|-------------|--------------|--------------|-------|-------|---------------|
| 중계 S/W | Blackdiamond | 200-240V/12A | 3.21 | 24.14 | 24.68 |

표 4. 가입자스위치(측정지점“C”) 측정치
Table 4. Measured values for access switch (point“C”)

| 측정번호 (No) | Server (Name) | Rating (V, A) | DV (%) | DA (%) | DA(%) (Neutral) | 다량발생 차수 |
|-----------|-------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | Blackdiamond (1U) | 200-240V 15A(4.9A) | 4.05 | 17.54 | 17.54 | H3 |
| 2 | Blackdiamond (2U) | 200-240V 15A(6.5A) | 2.83 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | HP Netserver LTS000r U3 | 200-240V 3.9A | 3.64 | 31.12 | 31.12 | H3 |
| 4 | Cisco system | 200-240V 2.1A | 2.42 | 31.90 | 31.90 | H3 |
| 5 | ENTERPRISE 5500 | 200-240V 24A | 3.14 | 40.95 | 40.95 | H3 |
| 6 | ENTERPRISE 5500 | 200-240V 12A | 2.88 | 33.77 | 33.77 | H3 |
| 7 | PDR (부하율: 14.7%) | 380V/220V 29.4A | R: 2.66 S: 1.26 T: 0.50 | R: 21.67 S: 19.81 T: 16.23 | 90.31 | H3: 21.32 H5: 3.28 H9: 3.28 |
| min | | | 0.50 | 0 | 0 | |
| max | | | 4.05 | 40.95 | 90.31 | H3 |

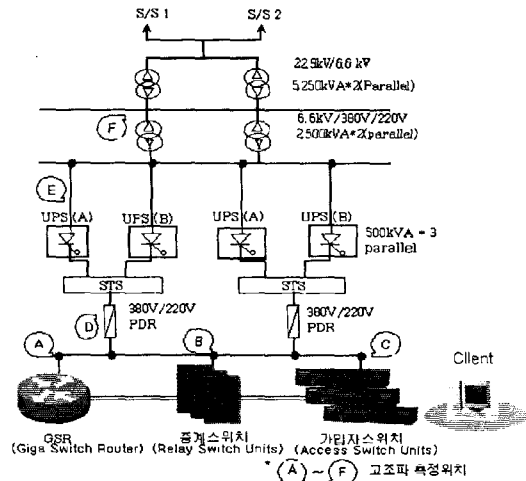
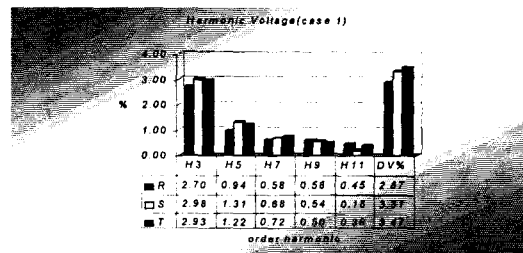
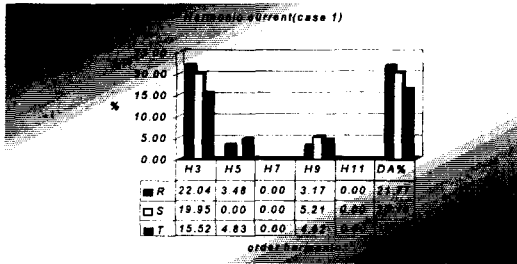


그림 10. IDC 네트워크 전원구성 및 고조파 측정지점
Fig. 10. IDC Network architecture and measurement points of harmonics



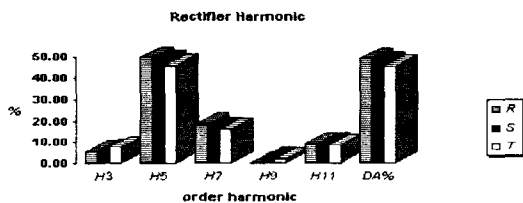
(a) 측정지점 “D”의 고조파 전압 스펙트럼



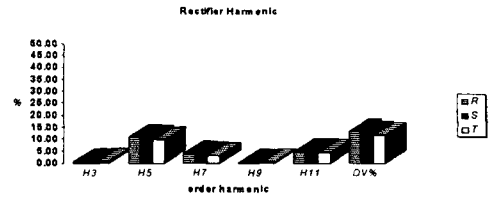
(b) 측정지점 "D"의 고조파 전류 스펙트럼

그림 11. 전원분전반분전반(3상4선)에서의 고조파 특성
 Fig. 11. Harmonics characteristics in power distribution rack (3 phase 4 wire)
 (a) harmonics voltage spectrum of "D"
 (b) harmonics current spectrum of "D"

측정지점 A, B, C의 각 인터넷 네트워크 스위칭을 개별적으로 측정한 결과는 표 2, 3, 4에 나타난 것과 같이 3차 고조파가 대부분이며, 12.26(%)~40.95(%)로 스위칭의 종류에 따라 고조파 전류는 우려할 만큼 다량의 고조파가 발생됨을 알 수 있다. 그림 10에서 인터넷 네트워크에 직접적으로 전원이 공급되는 전원분전반(power distribution rack)에서의 측정 결과는 그림 11의 b)와 같이 고조파 전류는 3차가 15.52(%)~22.04(%)로 가장 많은 함유량을 나타냈고, 특히 7차, 11차는 거의 존재하지 않는 것으로 나타났다. IEEE 519 Std와 비교할 때 전류 왜형을 DA(%)는 기준치의 5.5배의 초과된 고조파가 발생되었고 특히 neutral line의 고조파 전류 함유량이 상당히 발견되어 이의 개선을 위한 내량 보완이 필요함을 알 수 있었다.



(a) 측정지점 "E"의 고조파 전류 스펙트럼
 (정류소자: SCR)



(b) 측정지점 "E"의 고조파 전압 스펙트럼
 (정류소자: SCR)

그림 12. UPS(정류기)에서의 고조파 특성
 Fig. 12. Results of UPS(rectifier) harmonics measurement
 (a) harmonics current spectrum of "E"
 (b) harmonics voltage spectrum of "E"

그림 12는 UPS(Uninterruptible Power Supply)에서의 정류기 입력측(교류측) DA(%), DV(%)를 실측한 결과를 나타낸다. UPS 용량은 500[kVA]로 정류기 1차 입력측 측정 결과 5차 전류가 45.74~49.76(%)으로 가장 많은 분포로 나타났고 7차 16.39~18.38(%)로 나타났고 3차 6.21~7.64(%)로 나타났다. 또한 11차 8.64~9.29(%)로 나타났으며, 결과적으로 UPS 정류기에서의 주요관리 대상 조파가 5차임을 알 수 있다. 고조파 전압 역시 기준치 5(%)에 비하여 최소 2.34(%)로, 최대 2.64(%)까지 증가된 유해 고조파 전압이 흐르고 있음을 실측을 통하여 알 수 있었다.

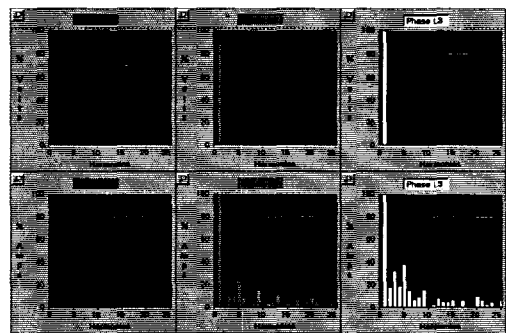
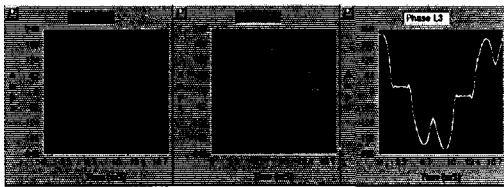
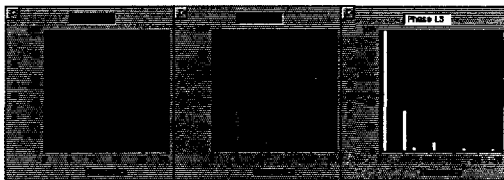


그림 13. 인버터 출력 고조파 전압-전류 스펙트럼(IGBT)
 Fig. 13. Harmonics voltage-current spectrum of inverter output(IGBT)

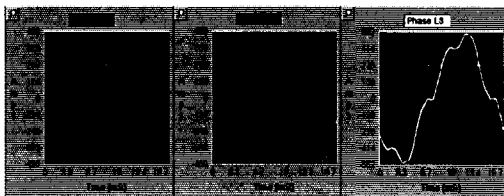
그림 13은 UPS내의 부하설비에 직접 연결되는 인버터(Inverter) 고조파 특성을 실측한 결과로서 IGBT 고속 스위칭 소자를 사용함에도 전류 왜형률(DA%)은 L1이 43.78%, L2가 42.79%, L3이 64.62%로 정류기 보다 10.23% 정도 적은량의 고조파 전류가 흐를 뿐이며, 전압 왜형률(DV%)는 정류기 보다 38.07%가 적은 고조파 전압으로 측정되었다 즉 SCR과 IGBT의 조합으로 구성된 UPS에서 인버터(IGBT)보다 정류기(SCR)에서의 고조파 성분 유출이 심각하다는 것을 알 수 있다.



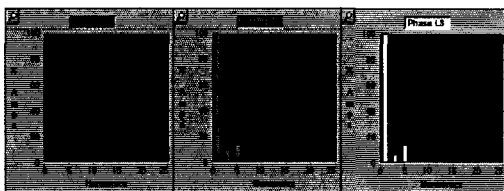
(a) 측정지점“E”의 입력 전류파형 (LC filter 없음)



(b) “(a)”의 고조파 전류 스펙트럼 (LC filter 없음)



(c) 측정지점“E”의 입력 전류파형 (LC filter 있음)



(d) “(c)”의 고조파 전류 스펙트럼 (LC filter 있음)

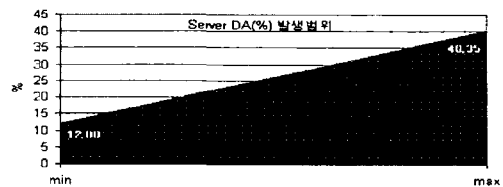
그림 14. LC 고조파 필터 유무별 UPS 입력 특성
Fig. 14. Comparative characteristics of LC with and without filter (load factor 22%)

UPS의 측정은 부하율 22%의 인터넷 가입자 서버(Clients Server) 운용상태에서 UPS 1차측에서 측정되었으며, 측정의 목적은 고조파 저감을 위한 LC 필터의 효율성을 분석하고 운용상 문제점을 개선하기 위함이었다. UPS의 정상 운전상태에서 필터를 개로, 폐로의 조건으로 반복 시행하였으며 측정된 UPS의 입력 전류 파형과 고조파 스펙트럼은 그림 14와 같이 나타났다. 먼저 LC 필터의 개로 조건(그림 14의 (a), (b))와 같이 고조파 전류 왜형률(DA%)은 L1 33.78%, L2 34.38%, L3 33.72%로 측정되었고, LC 필터 폐로 조건(그림 14의 (c), (d))에서는 L1이 17.86%, L2 17.69%, L3 16.20%로서 고조파 저감 효과는 48.05%~ 52.74%로 50% 정도의 저감효과가 입증되었다. 또한 전압 왜형률(DV%)는 LC필터 개로시 L1 10.53%, L2 9.17%, L3 8.62%)로 66.85%~70.53%까지 고조파 전압을 저감 할 수 있다. 그러나 단일 UPS 용량의 35% 이하의 저부하 운전 상태에서 무효전력(reactive power)은 평균 460%상승함으로서 무효손실이 과대하게 되고, 입력전압이 3.10%~3.50%정도 전압상승의 원인이 되어 LC 필터 설계의 개선이 필요함을 알 수 있다.

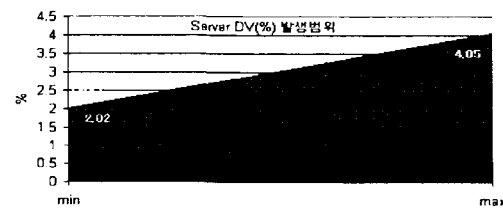
3.4 측정결과

3.4.1 Server Units

(a) DA% 발생은 12.00%~40.35%로 전체 36.39% 점유

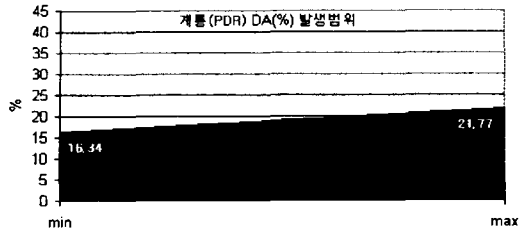


(b) DV% 발생은 2.02%~4.05%로 기준 대비 1.059% 과다

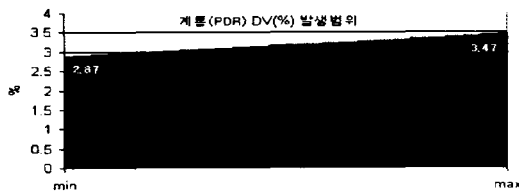


3.4.2 계통(Power Distribution Rack)

(a) DA% 발생은 16.34%~21.77%로 전체 10.24% 점유

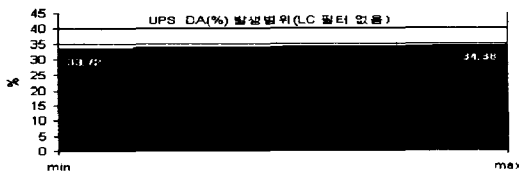


(b) DV% 발생은 2.87%~3.47%로 기준 대비 0.47% 과다

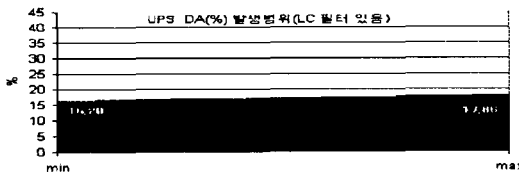


3.4.3 UPS

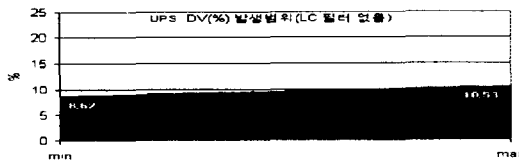
(a) DA% (LC 필터 없음)는 33.72%~34.38% 정류기 발생



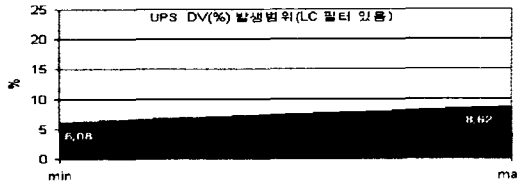
(b) DA% (LC 필터 있음)는 16.20%~17.86%로 (a)>51.95%



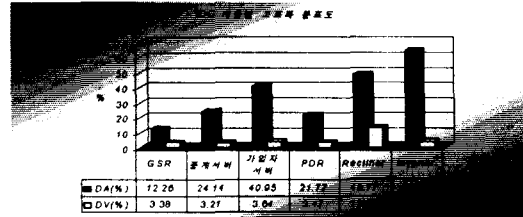
(c) DV% (LC 필터 없음)는 8.62%~10.53%로 7.53% 과다



(d) DV% (LC 필터 있음)는 6.08%~8.62%로 5.62% 과다



3.4.4 IDC 기기별 고조파 발생 분포



4. 다중화 실험 및 결과

4.1 변압기 Δ-Δ 와 정류기 6 Pulse

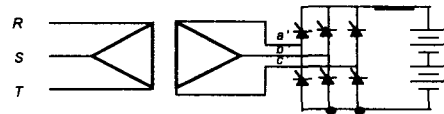


그림 15. 3상 델타-델타 브리지(6펄스) 정류기 구성
Fig. 15. Three-Phase delta-delta bridge(6pulse) rectifier configuration



그림 16. 3상 변압기 델타-델타 결선 전류 파형
Fig. 16. Three-Phase delta-delta current waveform of transformer

그림 15와 같이 구성하였을 때 기본 주파수에 대한 고조파 전류는 3차 6.20(%), 5차 28.33(%), 7차 16.67%로 나타났으며, 전류왜형율(DA(%))은 각 상(phase)별로 35~38(%), 고조파 전압은 각 상(phase)별 3차가 8~14(%로 나타내고 있다. 전압왜형율(DV(%))은 각 상(phase)별로 11%~20% 측정되었다.

4.2 변압기 Δ-Y 와 정류기 6 Pulse

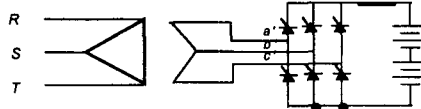


그림 17. 3상 델타-와이 브리지(6펄스) 정류기 구성
Fig. 17. Configuration of Three-Phase delta-ye bridge

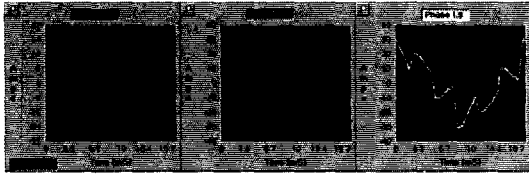


그림 18. 3상 변압기 델타-와이 결선 전류 파형
Fig. 18. Three-Phase delta-wye current waveform of transformer

그림 17의 회로로 구성하였을 때 고조파 전류의 파형은 그림 18과 같으며, Δ - Δ 와 비교하여 고조파 다량 발생 차수(5차)는 동일 하지만 그 발생량은 Δ -Y에서 많은 증가를 나타냈다. 고조파 전류는 3차가 3.33(%), 5차 38.33(%), 7차 16.65(%)등 Δ - Δ 와 거의 유사한 고조파 분포를 나타냈으나, 5차만이 다소 증가된 것으로 나타났다. 그 이유는 3상4선식에서 영상 고조파 전류는 각 상의 스칼라 합인 3배의 전류가 중성선에 흐르므로 Δ - Δ 보다 다소 증가된 고조파가 확인되었다. 실측 결과 중성선(neutral line)에서 3배의 전류보다 적은 1.5배~2배의 전류가 흐르는 것으로 나타났다.

4.3 변압기 다상화 와 정류기 12 Pulse

그림 19와 같이 구성하였을 때 입력전류 파형은 그림 20과 같이 나타나며, 시험한 결과 고조파 전류는 3차 2.67(%), 5차 4(%), 7차 0(%), 11차 12(%) 결과로 측정되었고, 고조파 전압은 3차 7(%)~13(%), 5차 5(%)~9(%), 7차 2(%)~5(%)로 상당한 고조파의 저감 효과를 입증 할 수 있었다. 그림 21과 같이 고조파 전류 스펙트럼에서 5차, 7차의 고조파는 Δ - Δ 와 Δ -Y에서는 근사치로 나타났으나 그림 21의 (c)와 같이 5차, 7차의 고조파 전류가 거의 감소된 효과를 확인 할 수 있었다.

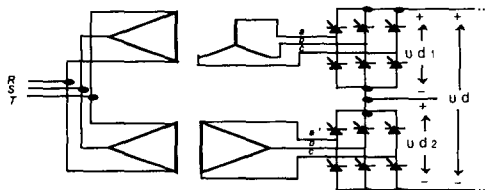


그림 19. 변압기 병렬과 12펄스 구성(다상화)
Fig. 19. Parallel 12-pulse rectifier(multi-phase) configuration

조영 · 전기설비학의논문지 제16권 제6호, 2002년 11월

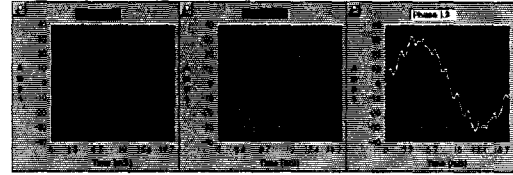
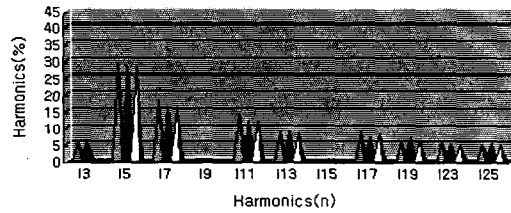
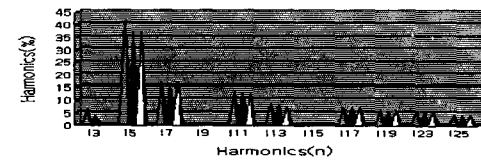


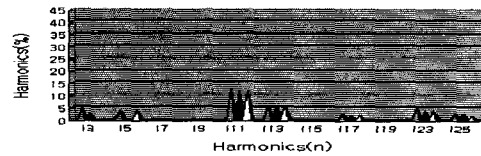
그림 20. "그림 19"의 입력전류 파형
Fig. 20. Input current waveform of "Fig 19"



(a) Δ - Δ 6 펄스 고조파 전류 스펙트럼



(b) Δ -Y 6펄스 고조파 전류 스펙트럼



(c) 다상화 12펄스 고조파 전류 스펙트럼

그림 21. 회로 구성별 고조파 전류 스펙트럼
Fig. 21. Current spectrum of harmonics as a function of type circuit

4.4 실험결과

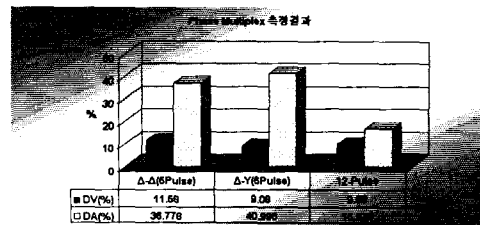


그림 22. 다상화 실험 측정 결과
Fig. 22. Results of harmonics through the multi-phase measurement

5. 결 론

본 논문에서는 IDC의 전원시스템 안정성 개선을 위하여 고조파가 고려된 UPS를 포함한 계통구성을 분석하였으며, 타당성 검토를 위하여 회로 구성별 고조파 발생량을 실측함으로써 고조파 저감효과를 확인하였고, 특성 연구에 관한 결과는 다음과 같다.

(1) UPS 2차측에 Isolation transformer의 구성을 통하여 개선전 대비 62.02(%)정도로 고조파전류가 입력측 유입이 억제되는 효과를 확인 하였다.

(2) 고조파 저감을 위한 LC필터는 대용량 UPS에서의 실효전류가 정격전류의 50(%) 이하인 경우 입력측 전압상승의 원인이 됨을 확인하였다.

(3) IDC의 전원계통 중 고조파 발생분포는 Server Units 41.81(%), 배전계통 22.56(%), UPS 35.63(%)로 개별 서버 유닛(네트워크스위치 포함)과 UPS의 개별 고조파 저감 개선에 대한 지속적인 연구 수행이 필요함을 확인 할 수 있었다.

(4) 중성선의 고조파 전류 과다는 이론치와 같이 1.5배~2배(이론치 : 각상 전류 스칼라 합 3배)로 일치함을 확인하였다.

(5) 실험한 결과 그림 21과 같이 다상화의 경우 3차 5차 고조파 전류는 거의 감쇄됨을 확인하였으며, 전류 왜형률(DA(%)), 전압 왜형률(DV(%)) 모두 현저한 저감 효과가 확인되었다. 측정결과에서와 같이 전압왜형 보다는 비선형 부하에서의 고조파 전류(전류 왜형)의 개선이 절실히 필요하며, 특히 서버유닛과 UPS에서의 고조파 발생문제가 심각한 것으로 나타났다. 이는 UPS의 기본 설계시 100(%) 부하를 고려한 고조파 필터 설계가 이루어지지만 현장에서의 운용은 스위칭 소자의 특성을 감안하여 최적 운용율을 50(%)~60(%)로 운전되는 조건에서 고조파 필터의 역할은 기대하기 어렵다. 또한 특정고조파(3차, 5차, 7차)를 감쇄시키기 위해서는 무엇보다도 부하의 균등 분할 유지가 필요하며, Neutral Line의 고조파 전류의 함유량이 기본과 전류에 비하여 1.5배~2배 정도 과하므로 불평형, 발열등 많은 문제점을 안고 있다고 할 수 있다. Multi-Phase를 실험한 결과 현저히 고조파가 저감됨을 확인 할 수 있었으며, 특히 영상 고조파의 저감이 분명 하였다. 향후 고조파가 통신 시스템에

미치는 영향(TIF)등 전문적이고 지속적인 현장 연구 수행이 필요하다고 사료된다.

References

- [1] 정보통신부, "집적정보통신시설(IDC)보호지침", 정보통신부 고시, 9, 2001.
- [2] 정보통신부, "초고속인터넷 SLA시행", 8, 2002.
- [3] John G. Kassakian, Martin F. Schlecht, George C. Verghese, Massachusetts Institute of Technology, "Principle of Power Electronics", pp. 48-51, 1991.
- [4] IEC 62040(EN62040)-1-1&2, IEC 146-4 and 146-5.
- [5] IEEE 519-1992, "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power system", 1993.
- [6] E. Thunberg, L. Söder, "On the Estimation of Harmonic Power Loss in Distribution systems", pp. 857, 2001.
- [7] IEEE Std 446. 1980.
- [8] John. J. Grainger, William, D. Stevenson, Jr, "Power System Analysis", pp. 330-333, 1994.
- [9] W. Mack Grady, Surya Santoso, "Understanding Power System Harmonics", IEEE Power Engineering Review, pp. 8-11, 2001.
- [10] R. F. Senior, Julio Quezada Ivan, Saavedra, "Harmonic Losses Measurement at 12 pulses High Current Controlled Transformer-Rectifiers", pp. 1065-1067, 2001.
- [11] J. R. Donnalley, General Electric Company, "SCR Manual", pp. 247-254, 1978.
- [12] 한국통신연구개발단, "UPS 매뉴얼", pp. 62-73, 1992.

◇ 저자소개 ◇

서 정 석 (徐廷奭)

1959년 9월 2일생. 1985년 단국대학교 공대 전기공학과 졸업. 현재 서울산업대학교 산업대학원 전기공학과 석사과정. 1988년~KT-IDC. Tel.(031)788-0050. e-mail : hunmin@kt.co.kr.

이 상 중 (李常中)

1955년생. 부산공업고등전문학교(5년졸업). 성관대학교 전기공학과 졸업. 1995년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 서울산업대학교 공대 전기공학과 조교수. Tel.(02)970-6411. e-mail : sjlee@snut.ac.kr.

이 희 영 (李熙瑛)

1953년 1월 14일생. 1992년 동서울대학 전자통신공학과 졸업. 1971~현재 KT-IDC 시설운용부장. Tel.(031)788-0007. e-mail : ltheyoung@kt.co.kr.

박 정 규 (朴貞圭)

1958년 11월 21일생. 2001년 서울산업대학교 공대 제어계측과 졸업. 1981년~현재 KT-IDC. Tel.(031)788-0030. e-mail : jkpark1@kt.co.kr.