

교통신호제어기용 무정전전원장치 용량기준 연구

A Study on Standardization of UPS (Uninterruptible Power Supply) for Traffic Signal Controller

고 광 응*
(Kwang-Yong Ko)

이 철 기**
(Choul-Ki Lee)

김 민 성***
(Min-Sung Kim)

허 낙 원****
(Nak-Won Heo)

정 준 하*****
(Jun-Ha Jeong)

요 약

현대의 도시교차로는 과거와 달리 날로 이용량과 시설규모가 증가하여 대형화하고 있다. 이에 따라 지역적 정전이나 광역적 정전사태가 발생하는 경우 교통상황은 견잡을 수 없는 혼잡상황에 직면하게 된다. 최근에는 전력수요예측 오류로 인한 대규모 도시정전사태가 발생한 사례가 있으며, 이로 인한 교통 혼잡해소에 많은 시간과 비용이 소모된 바 있다. 이에 정부와 경찰청에서는 교통신호시스템의 비상대응력을 고도화하기 위해 무정전전원장치(UPS: Uninterruptible Power Supply)의 도입을 추진 중에 있다.

본 연구에서는 교통신호기의 제어 용량을 고려하여 최소 2시간 지속가능한 전원보상용량을 산정하고, 산정 용량을 기준으로 개발된 규격은 시제품 실험을 통하여 전원보상 요구 성능을 검증하였다. 실험결과 개발된 규격은 충분히 요구 성능을 만족하였으며 중요교차로 등 대형교차로에서 운영 가능한 것으로 나타났다.

핵심어 : 교통신호, 무정전전원장치, 표준규격, 교통시설, 시범운영

Abstract

Unlike the past, modern urban intersections have dramatic growth in size and utilizations. As a result, continual traffic signal control is essential. Hence the individual or regional electrical blackout may bring about uncontrollable traffic congestion. Late summer of 2011 a regional blackout brought about traffic nightmare not including time and revenue loss associated with this disaster. Due to this disaster our national police agency and other government agencies are in process of introducing an UPS (uninterruptible power supply) system into essential intersections.

This study estimates the power consumption necessary to sustain at least 2 continuous hours for a standard four-legged intersection. Prototype was studied using these standards. The field experiment of prototype showed positive results and was able to meet standard guidelines set forth. Prototype tested was able to meet standards in medium to large capacity of traffic size..

Key words : Traffic Signal System, Uninterruptible Power Supply, Material Standards, Traffic Device, Battery Back-up

* 주저자 : 도로교통공단 교통공학연구실 선임연구원

** 공저자 및 교신저자 : 아주대학교 건설교통학부 교수

*** 공저자 : 도로교통공단 교통공학연구실 연구원

**** 공저자 : 도로교통공단 교통공학연구실 연구원

***** 공저자 : 도로교통공단 교통공학연구실 실장

† 논문접수일 : 2012년 8월 8일

† 논문심사일 : 2012년 8월 20일

† 게재확정일 : 2012년 8월 22일

I. 서 론

지난해 9월 15일 전력수요예측 실패로 인한 대규모 순환정전 사태가 발생하였다. 이로 인해 수도권 및 일부 지방의 주요 도시에서 교통신호등이 꺼져 충돌사고 및 교통 혼란이 유발되는 등 도시교통이 마비상태에 이른 곳이 다수 나타난 바 있다.

이에 정부와 경찰청에서는 대규모 정전사태에 따른 혼란을 방지하기 위한 일환으로 교통신호시스템에 전원 공급이 차단된 상태라도 일정 시간 동안 비상전원을 공급할 수 있는 무정전전원장치(UPS: Uninterruptible Power Supply)의 도입을 추진하였다[1].

본 연구에서는 교통시설용 무정전 전원장치(TDUPS: Traffic Device Uninterruptible Power Supply) 도입 시 일정한 성능을 보장하기 위해 교차로 교통신호제어기용 무정전전원장치의 목표용량을 산정하고, 이 용량에 근거한 UPS의 규격을 개발하였다. 개발된 UPS 규격은 배터리 소모품을 모듈화하여 호환성을 확보할 수 있도록 하였으며, 규격을 바탕으로 프로토타입을 제작하여 도로교통공단 사거리에서 시범 운영을 실시하였다. 시험운영의 목적은 무정전전원장치(UPS)의 설계목표 전원보상시간, 일반4차교차로의 전원보상능력, 층·방전 횟수에 따른 변화를 측정, 개발된 규격이 당초의 전원보상 요구 성능을 만족하는지를 검증하는데 두었다.

II. 기존문헌조사

1. 무정전전원장치(UPS) 관련 연구사례

Mo Zhao(2012)에서는 무정전전원장치(UPS)의 백업시스템의 운영으로 인한 편익을 산정하였다. 정전으로 인해 발생하는 비용은 사고로 인한 사망, 부상, 재산손해 및 기타요인으로 구분하여 제시하고, 고정식 신호교차로에서 시간대별로 정전으로 인한 무정전전원장치(UPS) 운영 시 편익을 산정하였다. 분석결과 15시~18시, 지속시간(Duration)이 60분 이상일 때 총 1258.96\$(약 142만원)의 편익을 보이며, 다른 시간대의 비해 가장 높게 나타났다[2].

NYDOT(2009)에서는 무정전전원장치(UPS)의 배터리 소재의 대한 비교분석을 수행하였다. 아래 <표 1>에서 보는 바와 같이 납산은 비용이 낮아 무정전전원장치 배터리의 주요 소재로 사용되고 있다. 니켈-카드뮴, 리튬 이온, 연료 전지는 높은 에너지 밀도를 보이지만, 비용 및 유지보수 등의 문제로 무정전전원장치의 배터리로 소재로 사용하기에는 어려움이 있다[3].

미국, 유럽에서는 무정전 전원장치의 최대 단점인 배터리 교체로 인한 비용을 최소화하기 위한 방안으로 태양전지, 자가발전기(천연가스, 가솔린), 리튬 이온(건전지) 등을 적용시킨 무정전전원장치(UPS)를 개발 중에 있으며, 현재 몇몇 교차로에 시범 적용하여 운영 중에 있다[4].

<표 1> 무정전전원장치 배터리 소재의 장단점
<Table 1> Pros and Cons of Uninterruptible Power Supply Batteries material

구분	장점	단점
Lead-Acid(납산)	최저 비용	전력손실 발생
Ni-Cd(니켈-카드뮴)	-40~60°C 뛰어난 성능	유지보수 비용 발생
Li-ion(리튬 이온)	높은 에너지 밀도	특수 충전 필요
Fuel Cells(연료 전지)	높은 에너지 밀도	높은 비용
Nickel-Metal-Hydride	널리 사용	유지보수 비용 발생

2. 외국 무정전전원장치(UPS) 전원보상능력

미국에서는 400~600W의 정전상황에서 작동되는 무정전전원장치(UPS)를 설치하여 운영 중에 있다. 정전 시 최대 4~6시간에 보상능력을 가지며, 12V 배터리에 의해 구동된다[5].

캐나다에서는 무정전전원장치(UPS)의 BBS(Battery Back-up System)에 대한 사양 및 기준을 제공하고 있다. 특정 지역에 따라 작동시간이 최대 4~8시간 사이의 작동을 보인다[6].

일본 도쿠시마에서는 통형 리튬 이온 배터리를 사용하여 지역 21개 교차로에 걸쳐 설치될 예정이며, 운영시간은 대략 최소 30분에서 최대 2시간까지 운영이 가능하다고 제시하였다[7].

Ⅲ. 무정전전원장치 목표용량 산정

1. 교차로 소비전력 추정

교통신호제어기용 UPS의 전원보상용량을 결정하기 위해서는 먼저 목표 교차로의 시설 규모와 유형을 정의하고, 시설규모에 해당하는 소비전력량을 추정할 수 있어야 한다. 본 연구에서 적용한 정규 교차로는 연등 2개소를 포함하여, 잔여시간 표시장치 등의 부가시설이 운영되는 도시부 교차로로 설정하였다. 연등 2개소를 포함하는 것은 연등 없는 정지선 6지 교차로와 같은 규모임을 의미한다. 따라서, 목표 교차로시설은 대형교차로 형태임을 알 수 있다. 신호등은 4색 신호등 중 보통 1~2개가 동시 점등되므로 시설 가동률은 3분의 1로 산정하였다. 음향신호기는 대부분 고정적으로 전원을 소비하고 있으므로, 0.9로 가동율을 산정하였다. 잔여시간표시장치도 간헐적 동작과 배터리 충전을 위한 전력소모를 감안하여 0.3의 가동율을 적용하였다. 한편, 지중 전선의 상태에 따라 누설 소모전력은 큰 차이가 있을 수 있으나, 5년 정도의 노후도를 평균 상태로 감안할 때 m당 10mW(0.01W)의 손실을 나타내는 것으로 적용하였다. 이러한 산정 기준에 따라 대형교차로 평균 소비전력은 약 700W규모가 되는 것으로 산정되었으며 해외에서 적용하는 설계 부하(600~800W)와 비슷한 규모로 나타났다.

〈표 2〉 목표 용량 산정을 위한 교차로 규모 및 소비전력량 추정

〈Table 2〉 The goal for the Intersection Capacity estimated size and power consumption

소비 전력산정항목		단위 소비전력	수량	시설 가동률(%)	소비전력량 (추정, W)
신호등	정지선	10W	64	0.33	211.2
	연등	10W	32	0.33	105.6
음향신호기		20W	6	0.9	108
잔여시간 표시장치		30W	12	0.3	108
신호기		70W	1	1.0	70
지중전선 총연장(m)		10,000m	1	0.01	100
총 계					702.8

2. UPS 용량 산정

교차로 교통신호제어기용 무정전전원장치의 목표용량은 앞서 추정된 정규 소비전력 700W 부하에서 2시간 이상 전원을 보상하는 것으로 하였다. 2시간은 응급 출동 및 조치, 전원 및 발전시설 복구 등에 소요되는 시간으로 정책적으로 결정되었다.

이 규격연구에서는 일반적인 부하측 역율(%)을 0.8로 적용하였으며, 예비율을 일반 무정전전원시설 요구장치에 적용하는 1.3보다 약간 여유 있는 1.35를 적용하였다. 일반적인 정전보상용량 산정식은 식(1)과 같다. 이 기준으로 정전보상용량을 산정하면 이 규격연구에서 산정한 UPS출력용량은 부하를 700W로 적용하여야 하므로 1.2KVA(= 700 ÷ 0.8 × 1.35)가 된다. 따라서 본 연구의 규격 개발 목표용량은 1.2KVA가 된다.

$$C = \frac{l}{lr} \times r \tag{1}$$

여기서 C = 정전보상용량
 l = 부하
 lr = 부하측 역율
 r = 예비율

3. 교통시설용 무정전전원장치 구성

본 연구에서는 도로교통공단 사거리에 개발규격에 준하여 제작된 무정전전원장치를 시범 설치하였다. 먼저 좌대를 설치하고, 그 위에 UPS를 설치하여 운영하였다. 좌대는 신호제어기와 UPS의 연결케이블을 설치하였고, 좌대위에 무정전전원장치를 연결하여 구현하였다. <그림 1>에서 보는 바와 같다.

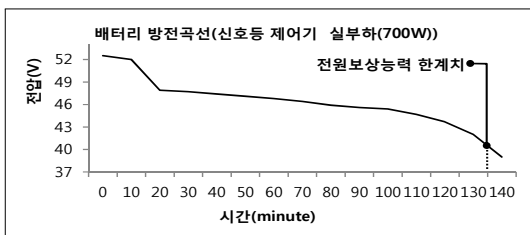


〈그림 1〉 UPS 좌대 및 UPS 설치
 〈Fig. 1〉 Installation of the Trial Prototype UPS

IV. 무정전전원장치 성능실험

1. 설계목표 전원보상시간 측정 실험

실험목표는 무정전전원장치 규격 개발의 설계 용량인 700W의 정격 부하를 연결한 상태에서 목표 성능인 2시간 전원보상을 충족하는지를 측정하는 실험을 수행하는 것이다. 실험에서 정확한 부하측정을 위해 소비전력 측정 장치와 부하량을 조절할 수 있는 스위치 및 발열저항소자로 구성된 부하조절기를 제작하였다. 이 장치는 무정전전원장치의 부하를 조절하여 특정 전력량이 소비되도록 조절하는 기능을 갖추고 다양한 부하 정도에 대한 정전보상시간 측정이 가능하도록 해주는 실험 보조 장치이다. 무정전전원장치를 완충시킨 상태에서 앞서 제작된 부하조절기를 연결하여, 부하조절기의 소비전력 측정기에서 700W가 측정되도록 발열저항 스위치를 조절하였다. 부하 조절장치의 전원을 인가한 후, 상용 입력전원을 제거한다. 이후 무정전전원장치의 전압레벨 저수준 경고음이 발생할 때까지 부하조절장치의 전원을 켜 놓는다. 시간은 분단위로 측정하였다. 총 3회 실험을 수행하였으며, 실험 결과 700W로 설정된 무정전 전원장치의 설계 목표 부하에 대해 평균 2시간 15분 정도의 전원 보상을 성공하였다. 개발된 규격의 사양으로 제작한 전원장치는 규격의 목표 전원보상용량을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

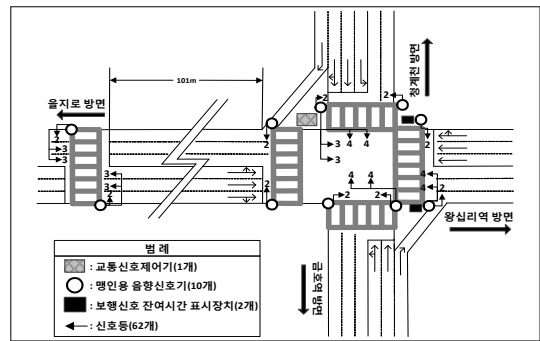


〈그림 2〉 700W 부하 시 전원보상시간 측정 그래프
 〈Fig. 2〉 Power Compensation Chart at 700W Load

2. 일반 4지교차로의 전원보상능력 측정 실험

실제 교차로 신호시설은 정규 부하와 다른 여러 상황이 발생할 수 있다. 맹인용 음향신호기나 보행

자잔여시간표시장치 등 부가시설들에 의한 전력소모요인을 비롯하여 지중매설전선과 전선 노후화 및 이음매 등 여러 요인에 의한 다양한 영향요소가 있다. 따라서 실내시험만으로는 비균질적인 현장 전력소모환경에 대응력을 제고할 수 없다. 이 실험은 이러한 비균질적인 현장 전력소모 상황에서 실제 정전상황을 부여하여 전원보상능력을 검증하고자 한 것이다. 현장실험은 정형 4지교차로에 300m 연등이 1개소 연결된 도시교차로인 도로교통공단 사거리에서 수행하였다. 이 때 외기 온도는 -5℃~4℃를 유지하였다.



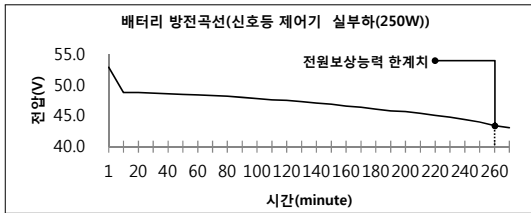
〈그림 3〉 현장실험 교차로 현황(공단 앞 사거리)
 〈Fig. 3〉 Equipments on the Test Site

한편, 현장의 소비전력에 영향을 미치는 시설요소들을 검토한 결과 <표 3>와 같이 일부 보조 장치들이 설치되어 있어 총 약 310W의 전력을 소비할 것으로 추정되었다. 그러나 실험에 앞서 소비전력 측정기로 측정한 소비전력은 240W ~ 250W 수준으로 나타나, 추정된 소비전력량과는 다소 차이를 보였다.

〈표 3〉 시설물 별 소비전력량
 〈Table 3〉 Power Consumption of Each Equipment

소비전력 산정 항목	단위 소비전력	수량	가동률 (%)	소비전력량 (추정)
신호등	10W	62	0.33	72.3
음향신호기	20W	10	0.9	30.9
잔여시간표시장치	30W	2	0.3	32.3
신호제어기	70W	1	1.0	72
지중전선총연장(m)	100m	1	0.01	101
총 계				308.5

무정전전원장치의 충전상태가 완충상태가 되도록 24시간 일반 운전모드에서 대기한 후, 수동바이패스스위치를 전환하여 강제로 인입되는 상용전원을 차단하여 정전상태가 유지되도록 하였다. 이후 무정전전원장치의 전압 저수준 경고음이 울릴 때까지 축전전원으로 신호시설을 운영하였다. 현장실험 결과 실 평균 부하 247W에서 4시간 43분을 전원보상에 성공하였으며, 이는 당초 목표로 했던 2시간 전원보상을 훨씬 상회하는 전원보상성능을 보여주었다. 다만 대형교차로는 실제 목표용량에 근접하는 부하가 발생하므로 대형교차로에서는 목표 전원보상시간에 가까운 2시간 내외의 전원보상이 가능할 것으로 보인다.



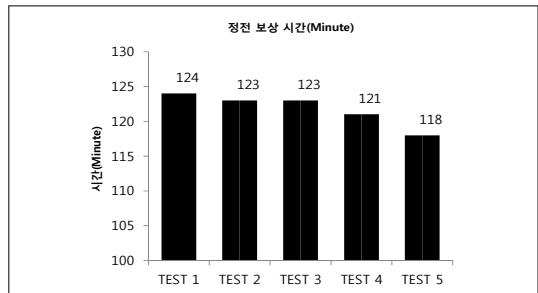
〈그림 4〉 설계목표 전원보상시간 측정
(Fig. 4) Power Compensation Chart at 250W Load

3. 충·방전 사용횟수에 따른 보상능력 측정 실험

개발 규격의 목표 용량인 700W의 정격 부하를 연결한 상태에서 설계목표인 2시간 전원보상시간을 반복 측정하면서 충·방전을 반복한 후 설계목표시간 보상이 불가능하게 되는 횟수를 찾아내는 실험을 수행하였다. 실험 장소는 실내였으며, 실내 온도는 18℃~22℃를 유지하였다. 실험방법은 ‘설계목표 전원보상시간 측정 실험’방법과 동일하게 진행하였으며, 이 실험을 반복하여 진행하였다. 매 회 충·방전 실험 단계마다 충전시간 및 전원보상시간을 측정하여 충·방전 횟수에 따른 전원보상능력의 변화를 판단하고자 하였다. 실험 결과 충·방전 횟수가 증가함에 따라 충전 소요시간은 점점 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 배터리셀의 메모리효과에 의해 충전능력이 점점 저하되고 있음을 나타내는데, 충전능력 저하에 따라, 충전용량이 감소하면서 충

전 소요시간이 줄어드는 것으로 판단할 수 있다.

또한 충전용량이 감소함에 따라 전원보상능력도 동일하게 줄어드는 것으로 나타났다. 충·방전 반복 횟수에 따른 전원보상능력 저하가 규격 요구사항을 준수하지 못하는 단계에까지 이르는데 4회가 소요되는 것으로 나타났다. 따라서 4회의 충·방전 횟수가 지난 배터리는 내구연한이 지나지 않았더라도 교체해주도록 업무지침을 정할 필요가 있다.



〈그림 5〉 충·방전 횟수에 따른 전원보상능력 저하
(Fig. 5) Decline in Performance by Usage Count

V. 결 론

본 연구에서는 교통시설용 무정전전원장치(UPS) 규격의 실제 현장의 적용이 가능한지를 파악하기 위해 규격에 따른 시제품을 제작 및 시험 운영한 결과를 제시하였다. 실내실험에서는 설계용량 부하 700W에서 2시간 15분의 전원백업성능을 확인함으로써 목표용량을 확인하였다. 또한, 현장실험에서는 정규 4지교차로의 전원보상능력을 현장실험을 통해 측정하였으며, 실 평균 부하 247W에서 4시간 43분을 전원보상에 성공하였다. 충·방전 횟수에 따른 보상능력 변화 측정 실험결과 4회의 충방전 횟수가 지난 배터리는 보상성능이 요구수준에 미치지 못하게 되는 것으로 나타났다. 따라서 내구연한이 지나지 않았더라도 4회의 정전 발생 지역의 배터리모듈을 교체해주도록 업무지침을 정할 필요가 있다. 무정전전원장치의 설치비용 및 배터리 교환으로 인한 비용 등의 편익을 고려하여 도입 시 효과를 제시하고, 배터리 교환 등의 비용을 해결하기 위한 재료의 개발의 대해서는 향후 연구과제로 남긴다.

참고문헌

- [1] 김재현, 김현경, “비에, 정전에 ‘막통’되는 신호 등 개선 나선다”, 해럴드 경제, 2012.
- [2] Z. Mo, J. Appiah, A. Sharma, “Cost-Benefit Analysis of Proving Battery Backup at High Speed Signalized Intersection” TRB 2012 Annual meeting, pp.3-12, 2012.
- [3] NYDOT, Guidelines for Traffic Signal Energy Back-up Systems, pp.23-75, 2009.
- [4] NYDOT, Guidelines for Traffic Signal Energy Back-up Systems, pp.10-17, 2009.
- [5] CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, Senate Bill Battery Back up Program for Light Emitting Diode(LED) Traffic signals, p.5, 2004.
- [6] NYDOT, Guidelines for Traffic Signal Energy Back-up Systems, pp.10, 2009.
- [7] SANYO, Lithium-ion Battery System, pp.1-3, 2010.

저자소개



고 광 용 (Ko, Kwang-Yong)

1996년 7월 ~ 현재 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
 2002년 2월 ~ 2007년 8월 : 아주대학교 교통공학박사
 1996년 2월 ~ 1998년 2월 : 홍익대학교 교통공학석사
 1987년 3월 ~ 1994년 2월 : 홍익대학교 도시공학과 졸업



이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

2004년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 건설교통공학부 교수
 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선 기획실장 및 COSMOS 추진 기획단장
 2000년 : 미국 Texas A&M University TTI(Texas Transportation Institute) Visiting Scholar 과정
 1991년 3월 ~ 1998년 2월 : 아주대학교 교통공학박사
 1989년 3월 ~ 1991년 2월 : 아주대학교 교통공학석사



김 민 성 (Kim, Min-Sung)

2012년 2월 ~ 현재 : 도로교통공단 교통공학연구실 연구원
 2008년 3월 ~ 2012년 2월 : 서울시립대학교 교통공학과 박사수료
 2008년 3월 ~ 2010년 2월 : 서울시립대학교 교통공학석사
 2001년 3월 ~ 2006년 2월 : 관동대학교 교통공학과 졸업



허 낙 원 (Heo, Nak-Won)

2006년 4월 ~ 현재 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구원
 2005년 4월 ~ 2006년 4월 : (주)비츠로시스 연구원
 2001년 4월 ~ 2005년 3월 : 도로교통공단 교통과학연구원 계약직연구원
 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 아주대학교 건설교통공학석사
 1992년 3월 ~ 1999년 2월 : 아주대학교 교통공학과 졸업



정 준 하 (Jeong, Jun-Ha)

2012년 7월 ~ 현재 : 도로교통공단 교통과학연구원 교통공학연구실장
 2007년 7월 ~ 2012년 6월 : 도로교통공단 교통과학연구원 수석연구원
 2007년 2월 : 아주대학교 공과대학 건설교통학과 박사 졸업(공학박사)
 1995년 10월 ~ 2007년 6월 : 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원
 1993년 3월 ~ 1995년 2월 : 아주대학교 교통공학과 석사 졸업(공학석사)