

무정전전원 공급시스템의 선정 요령과 용량산정법

글/송 언 빈(한국건설기술연구원)

1. 머리말

건물의 인텔리전트(Intelligent)화가 진행됨에 따라 건물의 기능이 급속히 변화되고 있다. 건물의 기능향상에 따라 전원에 대한 높은 신뢰도가 무엇보다도 중요해지고 있다. 보다 효과적인 무정전전원 공급시스템을 시설하려면 성능면, 신뢰성면, 가격 등을 상호 비교, 검토하여야 할 것이다. 일반적으로 성능을 향상시키려면 시스템의 회로구성이 복잡해지며 구성소자수가 증가하기 때문에 가격상승의 원인이 된다.

무정전전원 공급시스템을 선정하는데는 입력용 전원과 부하를 함께 검토하되 신뢰성과 경제성을 고려하여야 할 것이다. 특히 중요 부하의 선정과 장시간 정전에 대비한 자가발전기의 필요성을 세심히 검토하여야 한다. 축전지에 의한 전원공급은 일반적으로 수분에서 수시간 정도의 단시간 정전보상을 행하는 것이다. 장시간 정전에 대비하여야 할 중요 부하가 있을 때는 자가발전기와 상호 결합하도록 구성하여야 한다. 어떠한 순간적인 전원공급 중단을 허용할 수 없는 부하, 자가발전기 기동시간인 1분정도 전원공급 중단을 허용할 수 있는 부하, 일반부하 등으로 구분하여 전원공급 계획을 검토하여야 한다.

예를들면 컴퓨터실의 공조기들이 수분간의 정전으로 동작이 중지되면 실내온도가 상승되어 컴퓨터의 가동에 2차적으로 영향을 미치게 되므로 이러한 부수적인 요인 검토도 필요하다. 보다 효과적인 무정전전원 공급시스템을 구성하기 위한 시스템 선정요령과 용량산정법에 대하여 알아본다.

2. 무정전전원 공급시스템 선정요령

2-1 구성방식에 따른 선정요령

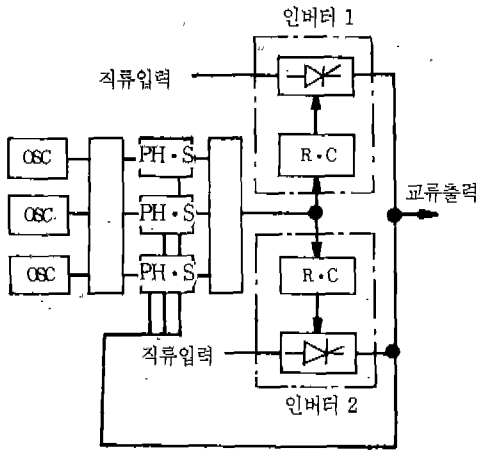
축전지의 접속방식은 부동 충전방식과 직류 다이리스터 스위치방식이 있다.

입력용량의 영향을 고려하여 100kVA급 전후의 중소용량 무정전전원 공급시스템은 부동 충전방식을 채용하고 대용량의 경우 직류 다이리스터 스위치방식을 채택한다. 전원공급의 신뢰도를 높이기 위하여 사용 대기방식, 상용 동기 대기방식, 동기 병렬방식 등을 신뢰성의 향상측면과 경제성을 비교하여 결정한다.

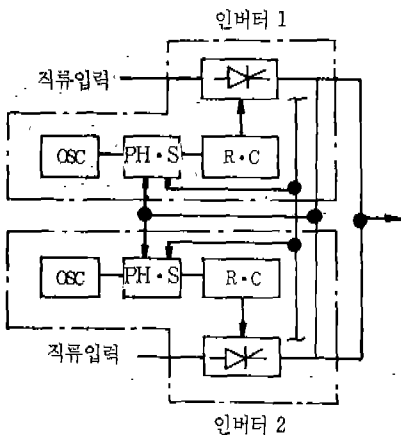
신뢰성을 높이기 위하여 다중화 인버터 방식이 채용되고 있다. 이러한 경우에도 다중제어방식과 개별 제어방식이 있다. 다중제어방식은 공동의 발전기와 전압제어회로로 구성된 동일한 제어신호를 인버터에 분배하여 운전하는 방식이다.

공통부분은 "Two out of Three"의 다수결 방식을 채용하여 어느 한 회로가 고장이더라도 나머지 두 회로로 지장없이 운전할 수 있게 구성되어 있다. 이 방식은 특별한 부하분담기능을 이용하지 않기 때문에 제어가 비교적 간단하게 이루어지는 장점이 있는 반면 각 인버터의 입력전압이나 출력입피턴스가 틀리면 부하분담이 불평형되는 단점이 있다. 개별제어방식은 각 무정전전원 공급시스템의 출력전압 및 위상을 동일하게 하기 위한 루프를 형성한 발전기와 전압제어회로를 가지고 각 무정전전원 공급시스템을

개별적으로 제어하는 방식이다. 이 방식은 특별한 제어를 필요로 하지만 서로 다른 부하와 병렬운전이 가능하고 병렬운전방식인 경우에 신뢰성을 좌우하는 공통부분이 작아지게 되는 장점이 있다. 개별제어방식을 이용한 무정전전원 공급시스템은 장애 부하증가에 대비해서 병렬대수를 늘이기가 비교적 쉬우며 신뢰성이 높기 때문에 컴퓨터 부하와 같은 정밀한



(a) 다중제어방식의 회로구성



(b) 개별제어방식의 회로구성

<그림 1> 인버터의 제어부 구성

전원이 필요한 경우에 적합하다. <그림 1>은 무정전전원 공급시스템에 사용하는 인버터의 다중제어회

로와 개별제어회로의 구성도를 나타낸 것이다. 다중 제어회로는 비교적 공통부분이 많으며 발전기도 공통으로 사용하고 있다. 단위 시스템의 동기제어는 간단하나 인버터의 병렬운전은 곤란한 점이 있고 공통부분에 대한 정기점검이 필요하다. 이 제어회로를 채택할 경우 출력전류의 불평형도는 약 2% 이하이다. 개별제어회로에 이용되는 발전기가 개별적이며 단위 시스템 동기운전이 복잡하고 출력전류의 불평형도는 약 5%이하지만 인버터 병렬운전이 간편하고 분할 투입이 가능하며 보수성이 좋은 장점이 있다. <그림 2>는 개별 제어방식을 채용한 무정전전원 공급시스템의 계통구성을 나타낸 것이다.

2-2 무정전전원 공급시스템의 주요성능

(1) 시설환경조건

- 설치장소는 옥내, 옥외로 구분한다.
 - 설치위치는 통상 지표에서 1,000m 이하로 정하고 있다.
 - 주위 온도 $-10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 에서 동작에 이상이 없도록 한다.
 - 상대습도 30~94% 범위에서 동작되도록 한다.
 - 소음, 기타 부식, 정정기준도 고려한다.
- 소음의 경우 GTO다이리스터를 채용하면 300kVA 급은 65dB 이하, 400~500kVA급은 70dB 이하까지 낮출 수 있다.

(2) 교류입력

- 단상, 삼상으로 구분하고, 삼상의 경우 3상3선식, 3상4선식을 결정한다.
- 전압변동범위는 정격전압의 $\pm 10\%$ 이내이다.
- 정격전압은 단상의 경우 110, 120V, 삼상의 경우 200, 220, 400, 440, 208, 210, 230, 380, 415, 420, 460, 480V 등을 선택하고 있다.
- 정격주파수는 50Hz 또는 60Hz에서 선택하도록 한다.
- 주파수 변동범위는 정격주파수의 $\pm 5\%$ 이내가

되도록 한다

- 교류입력용량은 부하용량의 110~120%와 충전기 용량을 추가하여 산정한다.

(3) 직류입력

- 기준전압인 축전지 전압은 90~125, 200~272, 360~490V, 290V(126셀), 423V(216셀), 547V(288셀) 등 여러 범위로 할 수 있으므로 출력전압과 관련하여 결정한다.
- 축전지 용량은 방전전류의 크기, 전원 공급시간 등을 고려하여 산정한다.
- 전압 정도는 $\pm 1.5\%$ 이하, 전압조정범위는 $\pm 5\%$ 이상이 되도록 한다.
- 정격전류는 200, 300, 380, 550 A 등 출력용량을 고려하여 결정한다.
- 인버터측 직류입력전압은 220~300, 220~340V 등을 선택한다.

(4) 교류출력

- 정격의 종류는 100% 연속, 110% 30분, 150% 10초가 표준이다. 이것은 과부하에 얼마만큼 견딜 수 있는가 하는 것을 결정하는 요소가 되므로 부하특성을 고려하여 결정한다.
- 정격출력은 부하용량을 기준으로 산정한다. 1, 000kVA급 정도까지 공급되고 있다.
- 정격전압은 단상 100, 110, 120, 200, 210, 220V, 삼상 200, 210, 220, 230, 415, 440V 등 부하조건에 맞춰 선택한다.
- 전압정도는 $\pm 1.5\%$, $\pm 2\%$ 이하 등으로 교류 입력전압이 $\pm 10\%$, 교류출력 전류가 $\pm 50\%$ 이상 변동하거나 정전후 복전의 경우에는 $\pm 10\%$ 정도까지 변동되므로 계통설계시에 고려하여야 한다.
- 정격주파수는 50Hz, 60Hz, 400Hz 등이 있다.
- 주파수정도는 $\pm 0.01\%$, $\pm 0.1\%$, $\pm 0.5\%$, $\pm 1.0\%$ 등 부하조건에 따라 선택한다.
- 파형왜율은 5% 이하(선형부하), 8% 이하(50% 전류기부하) 등을 만족해야 한다.

- 순시전압변동은 $\pm 10\%$ 이하 (50→100% 부하 급변), 전압회복시간 100msec 이하로 한다.
- 정격부하역률은 60~90% 낮은 역률을 고려해야 한다.

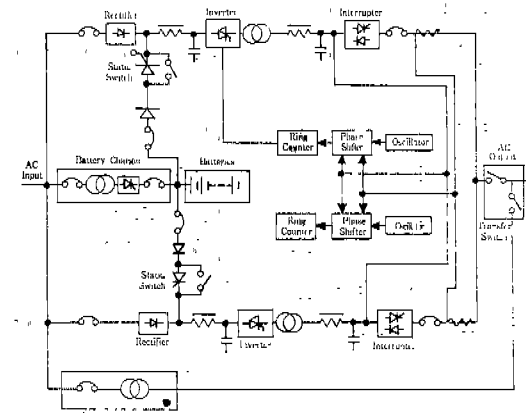
정지형 무정전전원 공급시스템은 회전기계형과 같이 심한 고부하능력을 갖고 있지 않기 때문에 보호장치에 관해서 특별한 고려를 하여야 한다. 이러한 고려조건은 각부하에 대한 정상전류의 크기, 다이리스터를 채용한 경우 전류실패없이 무전압을 허용할 수 있는 시간, 유효단시간 과전류 능력 등이다.

이런 조건을 고려할 경우 보호장치는 10msec 이내에 동작하도록 하여야 하며, 과부하 내량은 120%, 1분간으로 절연내압은 AC 2,000V, 1분간으로 절연저항은 500V메가로 측정하였을 때 3M Ω 이상이 되어야 한다.

3. 시스템의 용량 산정

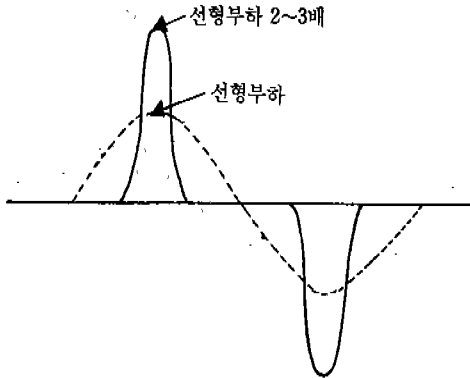
3-1 시스템 출력용량의 결정법

무정전전원 공급시스템의 출력용량은 부하의 용량과 그 부하의 성질을 파악하는 것이 필요하다. 부하용량에는 정격시 용량과 돌입 용량이 있다. 이 값은 무정전전원 공급시스템의 연속정격용량, 단시간 과부하 내량, 순시전압변동을 등의 특성에 영향을 미친



<그림 2> 병렬 무정전전원 공급시스템 구성

다. 컴퓨터 부하의 경우 정류기 부하가 많아 콘덴서 입력형이 되어 피크값이 크고 많은 고조파를 포함한 부하전류가 흐르게 된다.



<그림 3> 콘덴서 입력형 부하의 전류파형

<그림 3>은 콘덴서 입력형 부하의 전류파형을 보이는 것이다.

무정전전원 공급시스템의 정격전류와 부하의 피크 전류와는 다음 관계가 만족되어야 한다.

$\sqrt{2} \times$ 무정전전원 공급시스템의 정격전류 \geq 부하의 피크전류

시스템을 시설할 때의 여유율은 부하에 따라서 다소 다르지만 3상부하의 경우 12~15배, 단상부하의 경우 13~2배 정도로 산정하고 있다. 무정전전원 공급시스템의 정격용량과 부하의 정상시 용량의 총합은 다음 조건과 같아야 한다.

무정전전원 공급시스템의 정격용량 \geq 부하의 정상시 용량의 총합

부하에 따라서는 기동시 정상용량 이상의 돌입전류가 흐르는 것이 있고 이 돌입용량에 의한 부하가 급변하면 순시 전압변동이 발생한다. 보통 무정전전원 공급시스템의 성능은 정격용량의 50% 급변에 대하여 순시전압변동은 $\pm 10\%$ 정도이다. 따라서 최대 돌입용량은 정격용량의 50% 이하가 되어야 한다. 또한 정상시 부하용량과 돌입 부하용량의 합이 단시간 과부하 용량보다 작아야 한다.

단시간 과부하용량 \geq 정상시 부하용량 + 돌입부하용

량

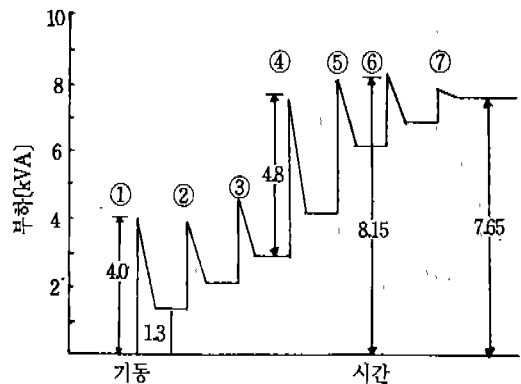
무정전전원 공급시스템은 정격용량의 120~150% 정도로 과부하 보호동작이 이루어지도록 고려되고 있다. 중요 부하들을 순차적으로 투입하는 경우 투입 최대변동분 용량과 순시 최대용량을 고려하여 무정

<표 1> 컴퓨터 부하의 용량

투입 순서	장 치 명	기 동 사용량 (kVA)	정 상 사용량 (kVA)	투입최대 변동분량 (kVA)	순시최대 용 량 (kVA)	정 상 시 최대용량 (kVA)
①	중앙처리장치	25	0.75	40	40	13
	타이프라이터1	0.6	0.25			
	타이프라이터2	0.6	0.15			
	입 력 장 치	0.3	0.15			
②	입 출 력 장 치 1	25	0.8	25	38	21
③	입 출 력 장 치 2	25	0.8	25	46	29
④	CRT 1	28	0.75	48	7.7	415
	CRT 2	20	0.5			
⑤	연 산 장 치 1	40	2.0	40	815	615
⑥	연 산 장 치 2	20	0.75	20	815	69
⑦	기 역 장 치	1.0	0.75	1.0	7.9	7.65

전전원 공급시스템의 용량을 산출하여야 한다. <표 1>은 컴퓨터 부하를 순차적으로 투입한다고 했을 때의 부하용량을 나타낸 예이며, <그림 4>는 동작 순서도이다.

<표 1>에서와 같은 컴퓨터 부하에서 최대 변동분 용량은 48(kVA)이므로 이를 고려한 경우 무정전전원 공급시스템 용량은 $48 \div 0.5 = 9.6$ (kVA)이고 순



<그림 4> 부하 동작 순서

서 최대용량을 고려한 경우에는 $8.15(\text{kVA}) \div 1.2 \approx 6.8$ (kAV)이므로 무정전전원 공급시스템의 정격용량은 대략 10kVA로 정한다.

정상부하용량으로 산정하는 경우 대형 컴퓨터 시스템이 여러개이면 실제로 부하가 전부 동작하지 않으므로 수요율은 0.7~0.9 정도를 이용하고 있다. 또한 장래 시스템의 증가를 고려하여 부하용량에 대하여 10%~30% 정도의 여유를 갖고 산정하는 경우가 많다. 정상부하용량으로 산정한 무정전전원 공급시스템의 용량은 부하용량의 산술합과 부하의 수요율 및 여유율의 곱보다 크게 선정하여야 한다.

부하의 유효전력이나 역률은 기기 적격으로서 명시되지 않은 경우가 많다.

최근 컴퓨터 시스템에는 정류기 부하의 비율이 증가되는 경향이 있으며 삼상정류기 부하역률은 0.9 정도이다. 만약 무정전전원 공급시스템의 정격역률을 넘는 고역률로 운전하는 경우 출력피상용량을 저감시켜 사용할 필요가 있다.

무정전전원 공급시스템의 정상용량은 인버터의 능력으로 대개 결정되나 인버터의 출력부에는 파형 정형용 교류필터가 있고 고역률 부하시의 출력용량 저감률은 출력측 교류필터의 설계에 따라 달라진다. 가령 40(kW) 정격인 무정전전원 공급시스템의 경우 역률 0.9인 부하에서는 $40(\text{kW}) \div 0.9 = 44.4(\text{kVA})$, 역률 1.0인 부하에서는 $40(\text{kW}) \div 1.0 = 40(\text{kVA})$ 로 사용할 수

있다. 무정전전원 공급시스템의 역률변동 범위는 단상에서는 0.6~1.0, 삼상에서는 0.7~1.0이 일반적이다. <그림 5>는 시스템 용량과 부하역률과의 관계를 나타낸 것이다. 무정전전원 공급시스템의 핵심은 인버터이다. 인버터의 용량 P(kVA)는 부하용량 R(kW), 부하효율 y_R , 인버터 효율 y_i , 역률 $\cos\theta$, 여유율 1.05로 하였을 때 다음과 같다.

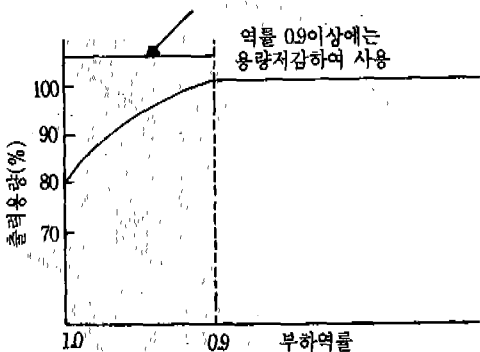
$$P = \frac{1.05R}{y_R \cdot y_i \cdot \cos\theta} (\text{kVA})$$

3-2 축전지의 용량 결정법

축전지에 의한 정정보상시간은 5~10분의 경우가 많다. 연축전지의 경우 CS형과 HS형을, 알칼리 축전지의 경우 AMH형과 AHH형을 들 수 있다. CS형은 비교적 장시간 방전용으로 가장 널리 쓰이고 있으며 HS형은 거치형으로 단시간 고출 방전용으로 적합하다. 알칼리 축전지 중에서 AMH형은 고출 방전용으로, AHH는 초고출 방전용으로 사용된다. 축전지에서는 t시간 동안 방전할 수 있는 전류는 t시간률(HR) 방전전류라 한다. 이 방전전류가 클수록 방전시간은 짧아진다. 축전지의 방전시간률과 용량과의 관계는 다음과 같다.

- 방전시간이 짧을수록 축전지의 용량은 감소하는데 반드시 비례적으로 감소하지는 않는다.
- 30분 이하의 방전시간에 대해서는 AHH형의 방전특성이 가장 우수하고 다음으로 HS형, AMH형, CS형의 순서이다.
- 30분 이상의 방전시간에 대해서는 HS형과 AMH형의 순서로 바뀌고 있다.

축전지는 일반적으로 주위온도가 저하함에 따라 실용용량이 감소하는 특성을 가지고 있다. 거치식 축전지에서는 전해액 온도 25°C를 용량규정 조건으로 하고 있다. 인버터부의 직류 입력전압 범위는 부동충전전압, 또는 균등 충전전압에서부터 방전종지전압까지로서 축전지 전압변동율을 검토한 결과 CS형, HS형, AHH형은 거의 비슷하나 AMH형은 다소 큰 값

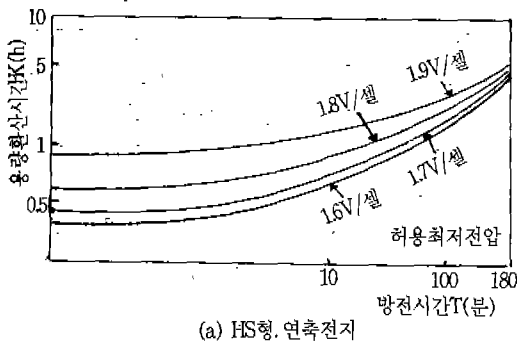


<그림 5> 시스템 용량과 부하역률과의 관계

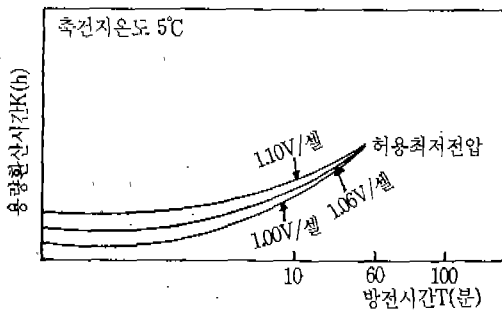
을 나타낸다.

축전지의 허용 최저전압은 낮게 잡을 수록 산출용량이 작게 되나 셀(Cell)수는 증가한다. 허용 최저전압을 낮게 택한 경우에 축전지 셀수의 증가율보다 소요용량의 감소율 쪽이 크기 때문에 소요용량×셀수의 값은 감소하지만 전압 변동율은 커지게 되므로 인버터부터 입력조건과의 관계를 검토하여 정한다.

축전지 설치장소의 허용하중 및 공간적 제약으로 인하여 축전지 자체의 중량 및 체적을 줄이는 것이 축전지 선정시의 중요한 요소가 된다. 동일 사용조건에 있어서 중량비는 AHH형이 가장 경량이고 HS형, AMH형, CS형의 순서로 커진다. 축전지의 방전시간이 대개 30분 이하이므로 중량, 체적면에서 AS형, AHH형이 유리하다고 볼 수 있다. 축전지의 수명은 연축전지의 경우 CS형이 10~15년, HS형이 5~7년, 알칼리 축전지의 경우 AMH형과 AHH형 모두 12~20년 정도이다.



(a) HS형. 연축전지



(b) AHH형 알칼리축전지

<그림 6> 축전지의 특성표

용량산정은 25°C에서 정격 방전을 환산용량 C (Ah), 보수를 L(일반적으로 0.8), 용량환산시간 K_n (h), 방전전류 I_n (A)하면

$$C = \frac{1}{L} \{ K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_2) + \dots + K_n (I_n - I_{n-1}) \}$$

로 표시된다.

여기서 K_n 은 <그림 6>의 특성표에서 찾는다.

(1) 연속부하의 경우

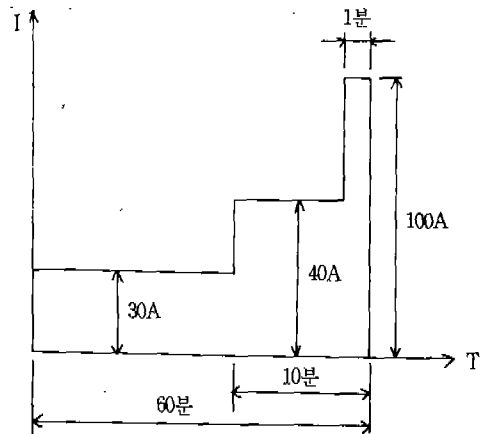
사용 축전지로 AHH형 알칼리 축전지이고 부하특성이 10분간 연속 100(A)의 부하전류를 흘려야 할 경우의 출력용량을 산정한다. 여기서 보수율은 0.8, 최적 축전지 온도 5°C, 허용 최저전압 1.0V/셀, K=0.3, 축전지 용량 C(Ah)는

$$C = \frac{1}{L} K I = \frac{1}{0.8} \times 0.3 \times 120 = 45(Ah)$$

이다.

(2) 방전전류가 시간의 경과에 따라 증가하는 경우

AHH형 알칼리 축전지를 사용하고 <그림 7>과 같은 부하에 대한 출력용량을 산정한다. 보수율 0.8, 최적 축전지 온도 5°C, 허용 최저전압 1.0V/셀을 적



<그림 7> 부하특성(부하 증가)

용한다.

$$I_1=30(A), T_1=60\text{분}, K_1=1.05$$

$$I_2=40(A), T_2=10\text{분}, K_2=0.3$$

$$I_3=100(A), T_3=1\text{분}, K_3=0.16 \text{ 이므로}$$

$$C = \frac{1}{L} \{K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_1)\}$$

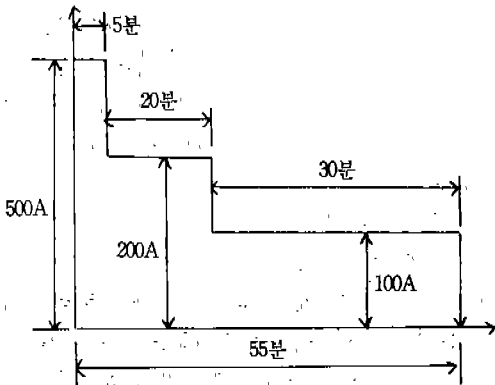
$$= \frac{1}{0.8} \{1.05 \times 30 + 0.3(40 - 30) + 0.16(100 - 40)\}$$

$$= 55.1(\text{Ah})$$

(3) 방전전류가 감소하는 경우

AHH형 알칼리 축전지를 사용하고 <그림 8>과 같이 변화하는 경우의 용량을 산정한다.

보수율 0.8, 최저 축전지 온도 5°C, 허용 최저전압 1.06V/셀을 적용한다.



<그림 8> 부하특성(부하 감소)

$I_1=500(A), T=5\text{분} K=0.28$ 인 경우

$$C_1 = I/L \cdot KI = \frac{1}{0.8} \times 0.28 \times 500 = 175(\text{Ah})$$

$I_1=500(A), T_1=25\text{분}, K_1=0.57$

$I_2=200(A), T_2=20\text{분}, K_2=0.5$ 이므로

$$C_2 = \frac{1}{L} \{K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1)\}$$

$$= \frac{1}{0.8} \{0.57 \times 500 + 0.5(200 - 500)\}$$

$$\approx 168.8 (\text{Ah})$$

$$I_1=500(A), T_1=55\text{분}, K_1=1.03$$

$$I_2=200(A), T_2=50\text{분}, K_2=0.94$$

$$I_3=100(A), T_3=30\text{분}, K_3=0.64$$

$$C_3 = \frac{1}{L} \{K_1 I_1 + K_2 (I_2 - I_1) + K_3 (I_3 - I_1)\}$$

$$= \frac{1}{0.8} \{1.03 \times 500 + 0.94(200 - 500) + 0.64(100 - 200)\}$$

$$\approx 211.3(\text{Ah})$$

따라서 C_1, C_2, C_3 를 비교하여 가장 큰 값인 211.3(Ah)를 선택한다.

무정전전원 공급시스템에서 충전기가 있는 경우 부동 충전방식에서 정상시의 부하전류는 충전기가 전부 부담하고 순시 최대부하에 대해서는 축전지와 충전기가 분담하게 된다. 교류측의 정전시에는 축전지가 전부하를 담당하고 정전회복 후에는 충전기가 축전지의 충전은 물론 부하전류도 공급해야 한다. 따라서 충전기의 정격 출력전류는 약15% 정도의 충전전류 여유분을 가산하여 다음과 같이 구한다.

$$I = I_L + 1.15, I_c = I_L + 1.15 \times \frac{\text{축전지용량(Ah)}}{\text{재충전시간(H)}}$$

여기서

I : 충전기 용량(A)

I_L : 부하전류(A)

I_c : 충전전류(A)

이다. 부하전류는 정상시 최대전류를 의미하며 순간적인 대전류에 대해서는 고려하지 않는다. 재충전 시간이 분명치 않을 경우 연속전지는 10시간를, 알칼리 축전지는 5시간를 전류를 충전전류로 하고 있다.

