

Fast Hartley Transform을 이용한 確率論的 發電시물레이션에 관한 研究

A Study on the Probabilistic Generating Simulation by Fast Hartley Transform

宋 吉 永* · 金 龍 河** · 崔 在 錫**
(Kil-Yeong Song · Young-Ha Kim · Jae-Seok Choi)

요 약

본 논문은 고속 Hartley 변환을 사용해서 발전계통의 신뢰도지수 및 발전량 계산을 할 수 있는 새로운 알고리즘을 제시한다. 고속 Fourier 변환을 사용한 변환된 함수는 복소수인 반면 고속 Hartley 변환을 사용해서 구한 변환된 함수는 실수가 되므로 후자가 전자에 비해 상승적분과정이 용이하고 더 빠르다. 본 알고리즘을 IEEE 신뢰도 시험계통 및 실규모 계통에 적용하여서 그 결과를 평가하고 유용성을 검증했다.

Abstract- This paper describes an algorithm for evaluating the Loss of Load Probability (LOLP) and calculating the production cost for all the generators in the system using Fast Hartley Transform (FHT). It also suggests the deconvolution procedure which is necessary for the generation expansion planning. The FHT is as fast as or faster than the Fast Fourier Transform (FFT) and serves for all the uses such as spectral, digital processing, and convolution to which the FFT is normally applied. The transformed function using FFT has complex numbers. However, the transformed function using FHT has real numbers and the convolution become quite simple. This method has been applied for the IEEE reliability test system and practical size model system. The test results show the effectiveness of the proposed method.

1. 서 론

전력계통에 있어서 발전시물레이션은 전원확충

계획, 연료사용계획 및 운전계획 등에 대한 여러 가지 정보를 제공하여 준다. 그러므로 발전비용 및 계통의 신뢰도에 대한 정확한 예측은 필수적이며 또한 수 많은 입안계획이 검토되어야 하므로 이의 신속한 계산이 요구된다.

이러한 확률적 발전시물레이션의 중요한 과제는 고려대상기간 동안의 계통부하의 표현과 발전기의 사고용량을 등가적으로 계통부하에 반영해 주기를

*正 會 員 : 高麗大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
**正 會 員 : 高麗大 工大 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 1989年 7月 13日
1次修正 : 1990年 2月 13日
2次修正 : 1990年 3月 23日

한 상승적분의 과정을 통해 구해지는 계통등가부하 지속곡선의 계산에 있다고 하겠다. 이를위해 지금까지 개발된 대표적인 방법은 크게 Booth-Baleriaux법, Cumulant법, 그리고 고속 Fourier 변환법의 세가지로 분류할 수 있다.

이중 Booth, Baleriaux 및 Schenk등에 의해 개발된 Booth-Baleriaux 방법[1]은 일종의 수치해석적인 방법으로서 부하및 발전기를 각각의 독립확률변수에 대한 離散分布函數로 모델링하고 이를 상승적분하는 방법이다. 따라서 이 방법은 가장 정확한 계산값을 얻을 수 있으나 系統의 부하가 큰 경우와 발전기의 대수가 많은 계통에서는 상승적분과정에 많은 시간이 소요된다는 결점이 있다. 이러한 결점을 해결하기 위하여 Stremel등에 의하여 Cumulant법[6]이 제안되었다.

이는 계통부하를 Gram-Charier 수계열식으로 표현하여 발전기가 계통에 투입될 때마다 일일이 상승적분하지 않고도 단순히 발전기의 Cumulant를 더하여 등가부하지속곡선을 구하기 때문에 계산소요시간은 짧다. 그러나 이 방법 자체가 정규분포를 전제로 하고 있으므로 大容量 발전기의 대수가 적은 계통및 발전기의 사고확률이 작은 계통에서는 그 결과치의 정확도가 떨어진다는 결점이 있다.

본 연구에서는 부하및 발전기를 각각의 독립확률변수에 대한 離散分布函數로 모델링하고 상승적분과정을 고속 Fourier변환과는[5]달리 원래함수가 실수이면 변환된 함수도 실수가 되어 계산속도면에서 더욱 우수한 방법으로 평가되고 있는 고속 Hartley 변환을 이용해서 신뢰도지수및 발전기를 효과적으로 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 IEEE 신뢰도 시험계통및 실규모계통에 적용하여 그 결과를 평가하므로써 개발한 알고리즘의 효용성을 검증하였다.

2. 모델링의 정식화

2.1 계통의 모델링

(1) 발전기의 모델링

전력계통의 발전비용및 신뢰도는 이를 구성하고 있는 각종 발전기의 사고정지확률에 의존한다. 본 연구에서는 발전기 사고정지확률이 지수분포를 따른다고 가정하였다. 또한 발전기의 운전실적으로부터 영계이산상태 연속천이 마르코프 과정에 기초하여 발전기의 운전상태를 운전과 정지의 2개상

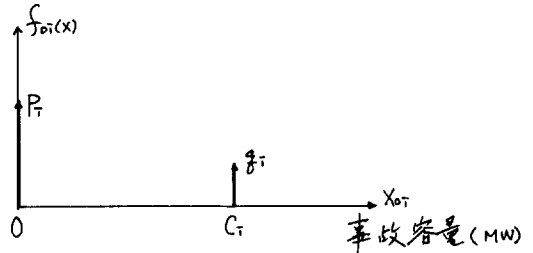


그림 1 發電機 事故容量 確率分布 函數
Fig. 1 Capacity Outage Probililty Distribution of Generator

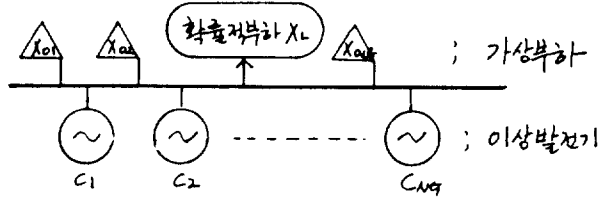


그림 2 유효부하 모형
Fig. 2 Modelling of Effective Load

태로 모델링한 그림 1과 같은 事故容量確率分布函數 $f_{oi}(x)$ 를 사용하였다.

여기서 p_i, a_i, c_i 는 각각 #i 발전기의 가동율, 사고율및 용량을 나타낸다.

(2) 부하의 모델링

발전시뮬레이션中 신뢰도 산정은 계통부하가 설비용량을 초과할 확률을 구하는 것이므로 부하도 확률적 모형으로 모델링하는 것이 적합하다. 그러므로 본 연구에서는 우선 고려대상기간 동안의 부하변동곡선으로부터 부하지속곡선을 만들고 다시 이의 시간을 나타내는 x축과 수요를 나타내는 y축을 전치한 다음, y축을 정규화한 전치된 부하지속곡선을 사용하였다. 이 곡선의 함수를 부하확률분포함수 $\varphi(x)$ 라 부르기도 한다.

2.2 기본식의 정식화

(1) 有効負荷

용량 c_i , 사고율 a_i 인 발전기가 계통에 병입되어 있다는 것은 그림 2와 같이 용량이 c_i 이고 사고율이 0인 理想발전기와 出現確率 a_i 를 갖는 c_i [Mw]의 假想부하 X_{oi} 가 동시에 존재하는 것과 등가이므로 이 假想부하와 계통부하 X_L 의 합으로 정의되는 有効負荷 X_e 를 식(2, 1)과 같이 정의할 수 있다.

$$X_e = X_L + \sum_{i=1}^{ng} X_{oi} \quad (2. 1)$$

식(2. 1)의 유효부하는 분포함수가 미리 주어지는 상호독립인 확률변수 X_e 와 X_{oi} 의 합이므로 식(2. 2)와 같은 상승적분공식에의해 i 번째 발전기까지 상승적분한 유효부하의 확률분포함수 $\varphi_i(x)$ 를 식(2. 3)과 같이 구할 수 있다.

$$A(x) \otimes B(x) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} A(x-x')B(x')dx' \quad (2. 2)$$

$$\varphi_i(x_e) = \varphi_{i-1}(X_e) \otimes f_{oi}(X_{oi})$$

$$\int_{x_{oi}} \varphi_{i-1}(X_e - X_{oi}) f_{oi}(x_{oi}) dx_{oi} \quad (2. 3)$$

단, \otimes : 상승적분 연산자

$$\varphi_0(X_e - X_{oi}) = \varphi_0(x) \quad (2. 4)$$

(2) 발전량 및 신뢰도지수

i 발전기의 발전량기대치 Ei 는 # $i-1$ 발전기까지 상승적분한 유효부하확률분포함수 $\varphi_{i-1}(x)$ 중 해당 구간 사이의 시간 기대치와 같으므로 이는 식(2. 5)와 같이 정식화 된다.

$$Ei = T \cdot pi \int_{u_{i-1}}^{u_i} \varphi_{i-1}(x) dx [Mwh] \quad (2. 5)$$

단, $U_i = \sum_{j=1}^i C_j$

$U_0 = 0$

$P_i = \#i$ 발전기의 가동율

T : 총시간대의 수 [hours]

한편, 우선 순위에 의해 #1 발전기부터 # NG 발전기까지 상승적분하여 구한 유효부하확률분포함수 $\varphi_{NG}(x)$ 를 이용하여 발전계통의 신뢰도지수인 $LOLP$ (Loss of Load Probability) 및 $EDNS$ (Expected Demand not Served)를 각각 식(2. 6) 및 식(2. 7)과 같이 정식화할 수 있다. 그림 3은 이를 나타낸 것이며 여기서 Lp 는 最大負荷值이다.

$$LOLP = \varphi_{NG}(U_{NG}) [p, u] \quad (2. 6)$$

$$EDNS = T \int_{U_{NG}}^{\infty} \varphi_{NG}(x) dx [Mwh] \quad (2. 7)$$

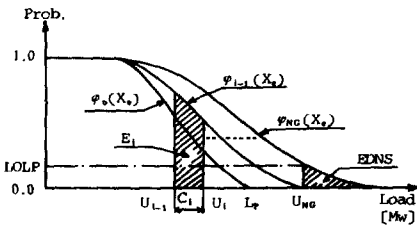


그림 3 $\varphi_i(x)$, E_i , $LOLP$ 및 $EDNS$
 Fig. 3 $\varphi_i(x)$, E_i , $LOLP$ and $EDNS$

3. 고속 Hartley 변환법(FHT법)

3.1 Hartley 변환의 기본식 및 특성

Hartley 변환의 기본식은 식(3. 1)과 같이 정식화 된다. [7]

$$H(\nu) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) (\cos 2\pi\nu t + \sin 2\pi\nu t) dt$$

단, ν : 주파수 (3. 1)

식(3. 1)의 $H(\nu)$ 를 식(3. 2)와 같이 偶函數 $He(\nu)$ 및 奇函數 $Ho(\nu)$ 의 합으로 나타낼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} He(\nu) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos 2\pi\nu t dt \\ Ho(\nu) &= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \sin 2\pi\nu t dt \end{aligned} \right\} \quad (3. 2)$$

여기서 식(3. 2)는 각각 Fourier cosine 변환 및 sine 변환이므로 Fourier 변환 $F(\nu)$ 는 식(3. 3)과 같이 표현되어진다.

$$F(\nu) = He(\nu) - jHo(\nu)$$

$$= (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) (\cos 2\pi\nu t - j \sin 2\pi\nu t) dt \quad (3. 3)$$

식(3. 1)과 식(3. 3)으로 부터 Hartley 변환과 Fourier 변환과의 관계는 식(3. 4)와 같다.

$$H(\nu) = F_{real}(\nu) - F_{imag}(\nu) \quad (3. 4)$$

즉, Hartley 변환이란 Fourier 변환의 실수부에서 허수부를 뺀 것이다. 그러므로 Hartley 변환에서는 원래함수 $f(t)$ 가 실수이면 언제나 그 변환된 함수 $H(\nu)$ 도 실수가 되므로 상승적분과정이 Fourier 변환보다 용이하다는 장점이 있음을 알수 있다.

한편, 실제의 적용을 위하여 식(3. 1)을 離散化 시킨 DHT (Discrete Hartley Transform)는 식(3. 5)와 같이 되며 이를 식(3. 6)과 같이 간단히 표현하기로 한다.

$$H(\nu) = N^{-\frac{1}{2}} \sum_{t=0}^{N-1} f(t) \left(\cos \frac{2\pi\nu t}{N} + \sin \frac{2\pi\nu t}{N} \right) \quad (3. 5)$$

$$\triangleq DHT f(t) \quad (3. 6)$$

단, N : 주기를 나타내는 離散化된 자료의 개수

DHT: 離散 Hartley 변환을 의미하는 연산자

3.2 고속 Hartley 변환 기법

1984年 R.N. Bracewell에 의해 고속처리가 가능한 Hartley 변환기법이 정립되었다[7].

이는 Hartley변환을 시키려는 함수를 직접 식(3. 5)에 대입하여 변환하지 않고 먼저 이를 $\frac{1}{2}$ 씩 분해한 함수를 각각 식(3. 5)에 대입해서 얻은 변환값에 Hartley변환에서 성립하는 擴張整理(Stretch theorem), 移動定理(Shift theorem) 및 덧셈定理(Addition theorem)등을 적용하므로써 원래함수에 대한 Hartley 변환을 고속으로 얻는 방법이다. 예로써 식(3, 7)과 같은 임의의 함수 $f(x)$ 에 대한 Hartley변환을 고속알고리즘으로 처리하여 본다.

$$f(x) = \{a_1 a_2 b_1 b_2 c_1 c_2 \dots z_1 z_2\} \\ = \{a_{10} b_{10} c_{10} \dots z_{10}\} \\ + \{o_{a2} o_{b2} o_{c2} \dots o_{z2}\} \quad (3. 7)$$

만일,

$$f_1(x) = \{a_1 b_1 c_1 \dots z_1\} = DHT\{a_1 \beta_1 \gamma_1 \dots\} \\ f_2(x) = \{a_2 b_2 c_2 \dots z_2\} = DHT\{a_2 \beta_2 \gamma_2 \dots\} \quad (3. 8)$$

라고 한다면 다음과 같은 擴張定理(Stretch-theorem)로 부터 식(3. 9) 및 식(3. 10)이 성립한다.

(擴張定理)

$$\{a, b, c, d\} = DHT\{a \beta \gamma \delta\} \text{ 이면} \\ \{a, o, b, o, c, o, d, o\} = DHT \frac{1}{2} \{a, \beta, \gamma, \delta, a, \beta, \gamma, \delta\}$$

$$f_1(x) = \{a_1 o b_1 o c_1 o \dots z_1 o\} = DHT \frac{1}{2} \{a_1 \beta_1 \gamma_1 \dots a_1 \beta_1 \gamma_1 \dots\} \quad (3. 9)$$

$$f_2(x) = \{a_2 o b_2 o c_2 \dots z_2 o\} = DHT \frac{1}{2} \{a_2 \beta_2 \gamma_2 \dots a_2 \beta_2 \gamma_2\} \quad (3. 10)$$

그러나 식(3. 7)의 두번째 항을 만들기 위해서는 식(3. 10)의 요소를 하나씩 우측으로 이동한 것이 필요하다. 그러므로 식(3. 10)에 다음과 같은 移動定理(Shift theorem)를 적용하고나서 식(3. 9)와 함께 다음의 덧셈定理(Addition theorem)를 적용하면 식(3. 11)과 같이 $f(x)$ 의 Hartley 변환 $H(\nu)$ 를 얻을 수 있다.

(移動定理)

$$f(x) = DHT H(\nu) \text{ 이면} \\ f(x-1) = DHT [H(\nu) \cos(2\pi\nu/N)]$$

$$+ H(n-\nu) \sin(2\pi\nu/N)]$$

(덧셈정리)

$$f_1(x) = DHT H_1(\nu), f_2(x) = DHT H_2(\nu)$$

이면

$$f_1(x) + f_2(x) = DHT [H_1(\nu) + H_2(\nu)]$$

$$H(\nu) = H_1(\nu) + H_2(\nu) \cos(2\pi\nu/N) + H_2(n-\nu) \sin(2\pi\nu/N) \quad (3. 11)$$

여기서, 원래함수 $f(x)$ 의 길이의 절반에 해당하는 $f_1(x)$ 및 $f_2(x)$ 의 변환을 구하면 $f(x)$ 의 DHT인 $H(\nu)$ 를 구할 수 있고 이 과정을 반복해 나가면 결국 2개만의 요소를 갖는 함수까지 분해할 수 있다. 이는 계산량에서 DHT가 N^2 인 반면 상술한 고속처리 알고리즘을 사용한 FHT인 경우는 $N \log_2 N$ 으로 되어 FHT가 DHT보다 훨씬 유리함을 알 수 있다.

3.3 FHT법에 의한 발전시뮬레이션

전술한 FHT를 이용하여 발전량기대치 및 신뢰도지수를 산정하는 새로운 계산방법은 다음과 같으며 그림 4는 이의 개념도이다.

단계 1 부하확률분포함수 $\varphi_0(x)$ 에 대한 Hartley변환 $Ho(\nu)$ 를 고속처리 알고리즘을 사용하여 식(3. 12)와 같이 구한다.

$$Ho(\nu) = N^{-\frac{1}{2}} \sum_{x=0}^{N-1} \varphi_0(x) \{ \cos(2\pi\nu x/N) + \sin(2\pi\nu x/N) \} \quad (3. 12)$$

여기서 EDNS를 계산하기 위하여 $\varphi_0(x)$ 에 대한 에너지 E_0 를 식(3. 13)에 의해 계산한다.

$$E_0 = T \int_0^{LP} \varphi_0(x) dx [Mwh] \quad (3. 13)$$

단계 2 #i 발전기의 사고용량확률분포함수 $f_{oi}(x)$ 를 작성하고 이의 Hartley 변환 $Hi(\nu)$ 를 고속처리 알고리즘을 사용해서 식(3. 14)와 같이 구한다.

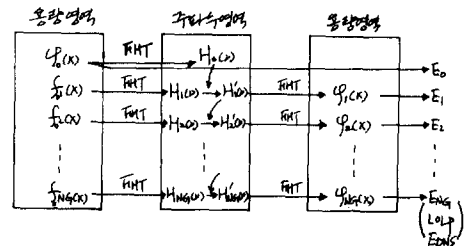


그림 4 FHT에 의한 발전시뮬레이션의 개념도
Fig. 4 The Concept of the Simulation by FHT

$$H_i(\nu) = N^{-\frac{1}{2}} \sum_{x=0}^{N-1} f_{oi}(x) \{ \cos(2\pi\nu x/N) + \sin(2\pi\nu x/N) \} \quad (3. 14)$$

단계 3 식(3. 15)처럼 상승적분공식을 이용하여 $H_i(\nu)$ 와 $H_{i-1}(\nu)$ 의 상승값 $H_i'(\nu)$ 를 구한다.

$$H_i'(\nu) = H_{i-1}(\nu) H_{ie}(\nu) + H_{i-1}(N-D) H_{io}(\nu) \quad (3. 15)$$

$$\begin{aligned} \text{단, } H_{ie}(\nu) &= [H_i(\nu) + H_i(N-\nu)]/2 \\ H_{io}(\nu) &= [H_i(\nu) - H_i(N-\nu)]/2 \end{aligned}$$

단계 4 단계 3에서 구한 $H_i'(\nu)$ 를 역 Hartley 변환식인 식(3. 16)에 대입하여 #i 발전기까지 투입된 등가부하지속곡선 $\varphi_i(x)$ 를 구하고 식(2. 5)를 이용하여 #i발전기의 발전량기대치 E_i 를 구한다.

$$\varphi_i(x) = N^{-\frac{1}{2}} \sum_{\nu=0}^{N-1} H_i'(\nu) \{ \cos(2\pi\nu x/N) + \sin(2\pi\nu x/N) \} \quad (3. 16)$$

단계 5 계통에서 투입이 가능한 모든 발전기가 투입된 등가부하지속곡선 $\varphi_{NG}(x)$ 로 부터 LOLP 및 EDNS를 식(2. 6), 식(2. 7)을 이용하여 구한다. 본 알고리즘의 흐름도는 그림 5와 같다.

4. 적용예

본 연구에서 제시한 발전량 및 신뢰도지수 계산 알고리즘을 먼저 IEEE 신뢰도 시험계통에 적용하여 그 유용성을 검증하고 다음에 實계통 규모의 모델계통에 적용하여 발전량기대치 및 신뢰도지수를 계산하여 보았다.

(1) IEEE신뢰도시험계통

IEEE 시험계통의 발전계통은 총 32대의 원자력, 화력, 수력기들로서 총 시설용량은 3400[Mw]이며, 부하는 年間 최대부하 2850[Mw]의 시간별 부하로 구성되어 있다. 이 계통에 대한 시뮬레이션 결과는 표. 1과 같다. (여기서는 수력기의 에너지 제약은 없는 것으로 가정하였다.)

표 1 IEEE 시험계통에 대한 각 방법의 발전량 및 신뢰도지수의 비교

Table 1 Comparison of Expected Energy and reliability Index by each method about IEEE R.T.S.

	Demand [Gwh]	Generated Energy [Gwh]	EDNS [Gwh]	EIR	Normalized Computation Time
Booth method	15297.075	15295.898	1.177	0.999230	11.050
Cumulant method	15258.02	15261.547	-3.527	1.0002312	1
FHT method	15258.02	15255.958	2.062	0.9998649	1.750

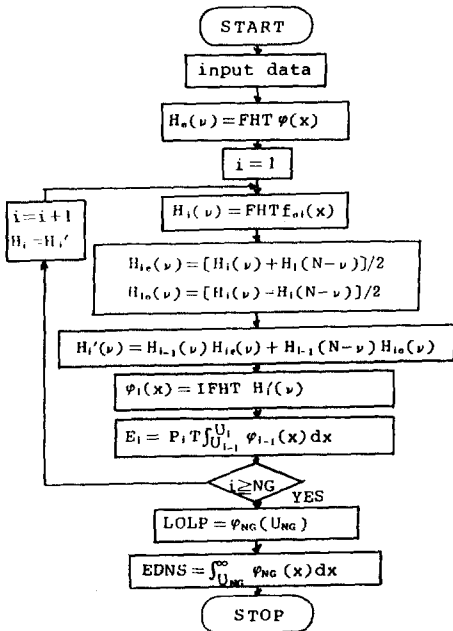


그림 5 흐름도
Fig. 5 Flow Chart

본 표에서 Cumulant의 EDNS가 -3.527[Gwh]값으로써 信賴度指數중 상대평가지표인 EIR(Energy Index of Reliability)값이 '1'보다 크게 되어 신빙성이 없는 값을 나타내는 반면, FHT법에 의한 EDNS는 2.062[Gwh]로써 EIR값이 0.9998649가 되어 Booth-Baleraiaux법의 0.99230과 거의 일치함을 알 수 있고 계산속도면에서 FHT법이 Booth-Baleraiaux법보다 훨씬 단축되고 있음을 볼 수 있다.

한편, 그림 6은 Booth-Baleraiaux법에 의한 값을 기준으로 하고 각 방법별로 산정한 각 발전기의 발전량 상대오차를 나타낸 것인데, 여기서 첨두부하용 발전기로 갈 수록 Cumulant법의 오차는 커지는 반면 FHT법에 의한 것은 Booth-Baleraiaux

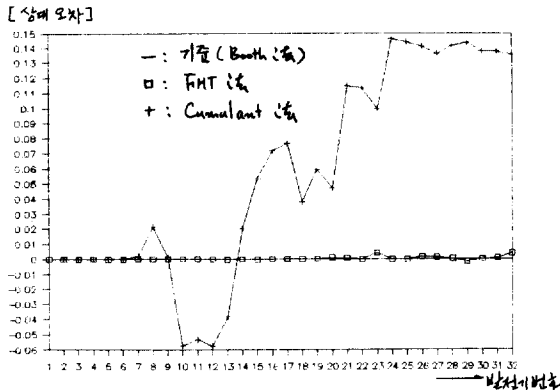


그림 6 각방법별 발전량의 상대오차
Fig. 6 Relative Error of Expected Energy by each method

표 2 실규모 모델계통의 발전기자료
Table 2 Generator data of the practical size model system

	발전기군별 시설용량[Mw]	대수	평균사고율
수 력	480	10	0.03668
원 자 력	3140	4	0.04208
유 연 탄	2680	6	0.02379
무 연 탄	1020	9	0.02379
중 유	5850	23	0.02667
	13170	52	

법에 의한 것과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

위와 같은 결과들을 놓고 볼 때 FHT법이 기존의 방법들의 결점들을 보완하고 있다고 사료되며 이는 본 알고리즘의 유용성을 검증하는 것이라 판단된다.

(2) 實규모 계통

여기서 사용한 實규모 계통의 발전기자료는 표. 2와 같다. 고려대상기간은 1年으로 하고 부하는 매달 세계 주 수요일 및 일요일 부하를 그 달의 대표 평일부하 및 대표주일부하로 한 그림7과 같은 부하곡선을 사용하였다.

위와 같은 實규모 계통에 대하여 FHT법으로 계산한 각 발전기의 발전량 기대치 및 ENDS, LOLP값등을 표. 3에 보인다. 여기서는 또한 참고자료로서 Cumulant법에 의한 결과도 그 옆에 실었다.

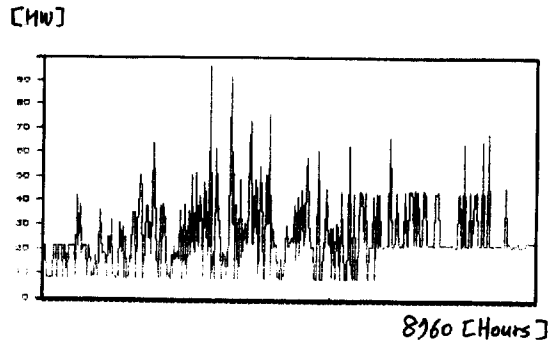


그림 7 실규모계통의 부하곡선
Fig. 7 Load Curve of the Practical Size Model System

표. 3에 의하면 기저부하용 발전기의 발전량은 거의 같으나 첨두부하로 갈수록 발전량 차이는 커지는 것을 알 수 있으며, 또한 통상 0.7[days/year] 정도로 상정되는[13]이 계통의 LOLP값에 대하여 Cumulant법에 의한 값을 6.93[days/year]로서 너무 큰 값을 나타내는 반면, FHT법에 의한 값은 0.95[days/year]로서 상정되는 값과 보다 더 일치하고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) Hartley변환이라는 새로운 기법으로 전력계통의 확률론적 발전량대치 및 신뢰도지수등을 계산할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

(2) Fourier 변환에서는 원래함수가 실수라도 변환된 함수는 복소수가 되어 상승적분과정시 2개의 복소수의 곱셈이 필요하지만 여기서 사용한 Hartley변환에서는 원래함수가 실수이면 변환된 함수도 실수가 되어 그 상승적분과정이 용이하고 계산속도면에서 유리할 뿐 아니라 고속처리 알고리즘을 사용한 FHT를 이용하므로써 더욱 계산소요시간을 단축시킬 수 있었다.

(3) IEEE 신뢰도시험계통 및 실규모 계통에 대한 적용예를 통하여 본 연구에서 제시한 방법이 기존의 방법중 대표적인 것이라 볼 수 있는 Booth-Baleriaux법과 Cumulant법의 결점들을 보완하고 있음을 알 수 있는 바 이는 본 알고리즘의 유용성을 검증하는 것이라 생각된다.

한편, 여기서는 발전기 운전모형을 단개모델로만 취급하였으나 다개모델로 고려할 경우에도 본 방법을 이용하면 한번의 변환으로 다개상태가 고

Ⅱ 3 실규모계통에의 적용결과

Table 3 Results of the Practical Size Model System

NG	CAP	ID	FOR	FHT	CUMULANT
1	20	HRD	0.04297	167991.859	168131.031
2	20	HRD	0.04297	168141.969	168131.031
3	20	HRD	0.04297	168141.969	168131.031
4	20	HRD	0.04297	168158.063	168131.031
5	100	HRD	0.03249	849877.750	849860.750
6	100	HRD	0.03249	849872.375	846890.750
7	50	HRD	0.03249	424906.688	424930.375
8	50	HRD	0.03249	424965.688	424930.375
9	50	HRD	0.03249	424906.688	424930.375
10	50	HRD	0.03249	424938.875	424930.375
11	590	NUR	0.04208	4964388. 000	4964477.500
12	650	NUR	0.04208	5469369. 500	5469335.000
13	950	NUR	0.04208	7993665. 000	7993550.500
.
.
.
47	200	THR	0.02712	138933.203	119377.586
48	200	THR	0.08461	103572.438	90246.242
49	200	THR	0.01671	85797.250	77080.414
50	300	THR	0.00763	96483.234	85781.586
51	200	THR	0.29191	32195.393	30029.385
52	100	THR	0.01197	19202.957	17720.711
total	generation	:	81849264.000	81780320.000	[Mwh]
	edns	:	672.000	69616.000	[Mwh]
	lolp	:	0.95	6.93	[days/year]

려될 수 있으므로 기존의 방법들이 그 상태 수만큼 상승적분과정을 거쳐야 하는 것과 비교할 때 본 방법이 더욱 유용하다고 예상된다. 그러나 이에 대한 상세한 검토는 이번에는 고려하지 못한 양수발전기의 운전 및 수력기의 에너지 제약조건등을 고려하는 문제와 함께 차후의 연구과제로 남기려 한다.

참 고 문 헌

[1] R.R. Booth, "Power System Simulation Model Based on Probability Analysis", IEEE,

PAS-91, no. 1, pp. 62-69, 1972.

[2] H.T. Yang, etc., "Recursive Approach to Cumulant Method for Production Simulation and Derivatives Calculation", 8th Symposium on Electrical Power Engineering, China, 1987.

[3] K.F. Schenk, etc., "A New Method for the Evaluation of Expected Energy Generation and Loss of Load Probability", IEEE, PAS-103, no. 2, pp. 294-303, 1984.

[4] J.P. Stremel, "Production Costing for Long Range Generation Expansion Planning

- Studies", IEEE, PAS-101 no. 3 pp. 562-536, 1982.
- [5] R.N. Allan, etc, "Discrete Convolution in Power System Reliability", IEEE, Trans, Reliability, vol. R-30, no. 5 pp. 452-456, Dec., 1981.
- [6] Y.B. Lee, etc, "Improvements to Probabilistic Power System Production Costing Simulation", PSCC, pp. 381-387, 1986.
- [7] R.N. Bracewell, "The Fast Hartley Transform" Proceedings of the IEEE, vol. 72, no. 8, pp. 1010-1017 Aug. 1984.
- [8] IEEE Committee Report, "IEEE Reliability Test System", IEEE, PAS-98 no. 6, pp. 2047-2054, Nov/Pec, 1979.
- [9] R. T Jenkins and D.S. Joy, Wien Automatic System Planning Package(WASP)-An electric Utility Optimal Generation Planning Computer Code, ORN1-4945, July 1974.
- [10] R.N. Bracewell, The Hartley Transform, Oxford University Press, 1986.
- [11] 朴 永文 등, "發電시스템의 發電에너지期待值 및 信賴度計算에 관한 研究" 大韓電機學會論文誌, 제30권 2호, pp. 112-118, 1982.2.
- [12] 宋 吉永 등, "확장된 EIGC法에 의한 確率의 發電費計算에 관한 研究" 大韓電機學會論文誌, 제36권 12호, pp. 839-847, 1987.12.
- [13] 에너지 經濟研究院, 長期電源開發計劃 適正化方案研究, 研究報告書, 1987, pp. 128-143.
-