

전력계통 건전성 지수 알고리즘 개발

Development of Power System Health Algorithm

임진택* · 이성훈* · 이연찬* · 최재석[†] · 최홍석** · 주준영**

(Jin-taek Lim · Sung-hun Lee · Yeon-chan Lee · Jae-seok Choi · Hong-seok Choi · Joon-Young Joo)

Abstract - This paper proposes Power System Health Index(PSHI) newly. The paper describes several kind of power system health indices based on two main categories, which are adequacy and security. In adequacy, four kinds of health indices of Frequency, Voltage, Reserve(Operating Reserve Power and Frequency Regulation Reserve Power) and Overload of lines and transformers are proposed. In security, four kinds of health indices of Voltage(154kV, 345kV and 765kV), Overload of lines and transformers, Power flow constraint among areas and SPS are proposed. All indices are mapped with three domains, which are indicated as Health, Margin and Risk, defined with expert interview. While domains of health, margin and risk is defined similar with the conventional well being analysis of power system. The criterion of the domains is proposed using an interview with expert operators and practical reliability codes in Korea. The several kinds of health index functions, which are linear ratio, piecewise linear ration and reverse ratio function etc. are developed in this paper. It will be expected that the developed health indices can help operators to control power system more successfully and also prevent power system from accident as like as black out in future because operator can make a decision immediately based on more easily visual information of system conditions from too much indices acquisition of complex power system.

Key Words : Power System Health Index , Frequency, Reserve, Overload, Health index functions.

1. 서 론

현재 계통운영은 EMS를 통하여 전압 및 주파수 제어, 송전선로 및 변압기 과부하율 감시, 예비력 예측운영, 상정고장 시 과도 안정도 예측 등 다양한 계통운영 관련 업무를 수행하고 있다. 최근 전력계통은 단기정전에 의한 산업피해가 심각하여 전력공급의 신뢰도 운영기법의 확보에 대한 대비책의 일환으로 피해손실을 감소하는 대비책이 시급히 필요하다. 그러나 EMS를 통한 전력계통 감시는 대상 설비의 과다, 각종 기능의 분산감시, 전력부족으로 인하여 증가하는 설비의 규정속지 증가 등으로 인하여 계통운전원은 전력고장과 비상상황 판단 대응에 어려움이 가중되고 있다. 특히 전력계통의 건전성에 대한 사전 예측진단, 계통운영 대응과 문제점 예방이 필요하지만, 현행의 시스템은 많은 부분을 실시간 계통운전 담당자의 인적 능력에 의존하고 있는 상황이다. 그러므로 전력계통에 대한 직관적이고 신속한 상황판단과 효율적인 감시 및 의사결정을 지원해 줄 수 있는 가시적이고 객관적인 운전지원 Tool의 도입이 반드시 필요해진다[9].

한편, 국내에서는 설비의 건전성을 파악하기 위한 지수를 독자적으로 개발하여 다양한 연구가 진행되어왔다. 대표적으로 국내에서는 BNF 테크놀로지에서 개발한 'Plant Health Index'가 있다[1]. 국외에서는 전력계통의 상태를 파악할 수 있는 시스템이 운영 중이며 대표적으로 중국의 '화중운영종합지수'가 있다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 전력계통의 실시간 상태를 나타내기 위한 대표적인 지수를 개발한 사례는 구체적으로 소개된 바 없으며 계통운전원이 계통의 감시 상태를 파악하기에는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 국가 경제적으로 매우 중요한 전력공급의 핵심인 전력망의 운영자 및 관리자가 쉽게 파악이 가능하고 시각적 효과가 있는 신뢰도 정보시스템의 구축 및 종합적인 공급지수의 개발이 절대적으로 필요하다.

본 연구에서는 실시간 계통의 상태를 직관적이고, 가시적인 지수의 개념을 정의하고, 지수화 기술 개발을 위하여 계통의 건전성지수를 표현하기 위한 몇 가지 출력함수 형태를 제시하고, 각 함수별 분석 및 시각화의 최종적인 전력계통 건전성 지수 모형(가칭PSHI: Power System Health Index)을 개발하였다.

이를 이용하여 실제 EMS 실적 데이터 및 가상데이터를 활용하여 계통의 상황을 검토해 봄으로써 미래 활용 가능성 여부를 파악할 수 있다. 본 논문에서의 사례결과를 토대로 이번엔 개발한 PSHI(Power System Health Index)의 실용 측면에서 그 타당성 및 적합성을 검증하는데 중점을 두었음을 밝힌다.

[†] Corresponding Author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Gyeongsang National University, Korea.
E-mail: jschoi@gnu.ac.kr

* Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Gyeongsang National University, Korea.

** KPX, Korea

Received : June 12, 2014; Accepted : September 24, 2014

2. Wellbeing Analysis 이론과 PSHI Domains 정의

실계통에서의 신뢰도 평가는 안전도(Security) 평가와 같은 상정사고해석 및 안전도(Security) 평가도 광의의 의미에서는 신뢰도평가의 한 분야로 취급될 수 있지만 그 동안 이들을 결합시킬 수 있는 수학적 방법이 개발되지 못하여 각각 따로 해석하여 오고 있다. 이러한 부분을 보완하기 위하여 평가기준영역을 공급적정도(Adequacy)와 안전도(Security)라는 두 개의 영역으로 나누고 각 평가기준영역에서의 모델은 확률론적으로 세워져 평가 기준은 결정론적으로 세워 각각의 상태확률을 평가기준에 따라 분류함으로써 공급적정도(Adequacy)와 안전도(Security)를 모두 고려한 새로운 신뢰도 해석방법을 건강도 해석(Health analysis)이라고 한다. 그러나 이는 계통계획을 위한 방법으로서 실시간적인 운용측면에서 활용하기에는 계산 소요시간이 크다는 단점이 있다.

본 연구에서는 실시간적인 운용측면을 고려하기 위한 새로운 방법은 신뢰도 기준 및 전문가의 인터뷰 등을 통하여 각 항목별 영역(Domain)을 새롭게 정의하였다. 전력계통 중 감시하고자하는 전압, 주파수, 예비율 및 과부하, 송전제약, SPS 등의 물리적량(Physical Quantity)에 대한 건전성지수(HI: Health Index)를 현재 신뢰도 기준 범령 및 전문가와의 인터뷰를 통한 결과를 토대로 건전영역(Health Domain), 한계영역(Margin Domain) 및 위험영역(Risk Domain) 등 3가지로 나누고 이에 대한 Mapping을 통하여 표현하기로 한다[8].

그림 1은 주파수에 대한 PSHI의 건전영역, 한계영역, 위험영역 기준 개념도의 한 예로써 나타낸 것이다.

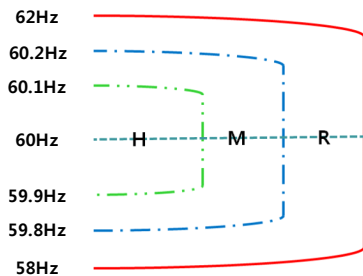


그림 1 주파수의 신뢰도 기준 및 전문가 인터뷰에 의한 3개 영역의 기준 개념

Fig. 1 An standard conception: frequency PSHI domain proposed newly in this paper

3. PSHI의 정식화

본 연구에서는 건전성지수(HI)를 현재 신뢰도 기준 범령 및 전문가와의 인터뷰를 통한 결과를 바탕으로 각 항목별 정식화 기술을 정의하면 다음과 같다. 표 1은 PSHI를 나타내기 위한 주요 항목을 분류한 것이다[2].

3.1 주파수

주파수는 그 기준에서 벗어난 정도의 편차를 바탕으로 하여 임의의 시각 t에서의 주파수 건전성 지수(HI_F)란 기준주

표 1 PSHI 대상 항목분류

Table 1 Target items for PSHI

공급적정도 (Adequacy)	예비력	주파수
		전압
		운영예비력
	과부하	주파수조정예비력
송전선로과부하		
안전도 (Security)	RTCA	변압기과부하
		과부하
		저전압
		송전제한계량
		SPS 적정운전

파수에 얼마나 가까운가를 정식화하여 삼을 수 있으며 전압과는 달리 전 계통에 걸쳐서 동일하다. 이를 정식화하면 다음과 같다.

$$HI_F(t) = (F^* - ABS(\Delta F(t))) / F^* \quad (1)$$

여기서, $\Delta F(t) = F(t) - F^*$

$HI_F(t)$: 주파수 건전성 지수

F^* : 기준 주파수

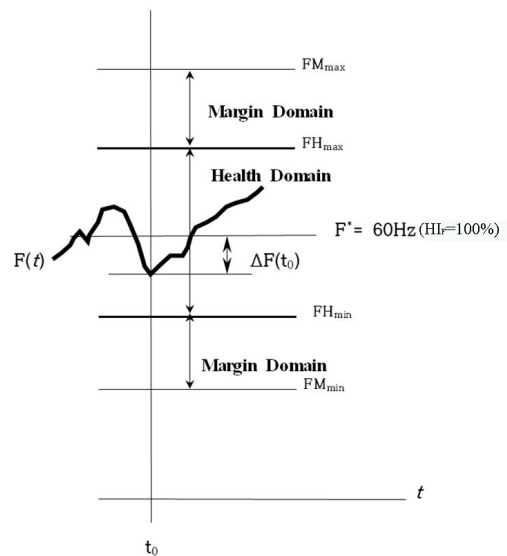


그림 2 주파수의 신뢰도 기준 및 전문가 인터뷰에 의한 3개 영역의 예시

Fig. 2 An example: frequency PSHI domain proposed newly in this paper

3.2 전압

전압은 각 모선별, 전압수준별로 기준에서 벗어난 정도의 편차를 바탕으로 하여 임의의 시각 t에서 전압의 건전성 지수(HI_V)는 기준전압에 얼마나 가까운가를 정식화하여 삼을 수

있다. 전압은 주파수와 다르게 다개상태로 존재하기 때문에 전압감시모선의 집합에서 건전성 지수가 최소인 값을 대표값으로 삼을 수 있다. 이를 정식화하면 다음과 같다.

$$HI_{V_i}(t) = \text{minimum}[(V_i^* - ABS(\Delta V_i(t))) \times 100 / V_i^*] \quad (2)$$

$i \in \Omega_v$

여기서, $\Delta V_i(t) = V_i(t) - V_i^*$
 $HI_{V_i}(t)$: 전압 건전성 지수
 V_i^* : 기준 전압
 Ω_v : 전압감시모선의 집합

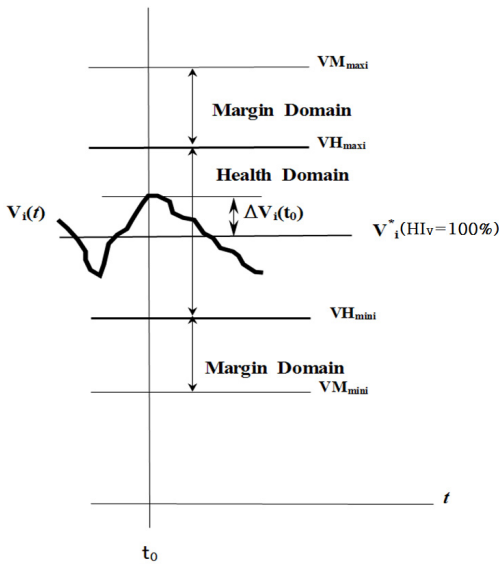


그림 3 전압의 신뢰도 기준령 및 전문가 인터뷰에 의한 3개 영역의 예시

Fig. 3 An example: Voltage PSHI domain proposed newly in this paper

3.3 예비력

가. 운영예비력

운영예비력은 현재 정한 신뢰도기준에 얼마나 충족하는가에 바탕을 주고 정한다. 즉, 기준운영예비력에 얼마나 가까운가를 운영예비력의 건전성 정도를 나타내는 지수(HI_{ORP})로 삼을 수 있다. 이를 정식화하면 다음과 같다.

$$HI_{ORP}(t) = (ORP^* - \Delta ORP(t)) \times 100 / ORP^* \quad (3)$$

여기서,
 $HI_{ORP}(t)$: 운영예비력 건전성 지수
 ORP^* : 신뢰도 기준령에서 정한 운영예비력
 $\Delta ORP(t) = ORP^* - ORP'(t)$
 $\Delta ORP(t) = \text{minimum} \{ORP(t), ORP^*\} [MW]$

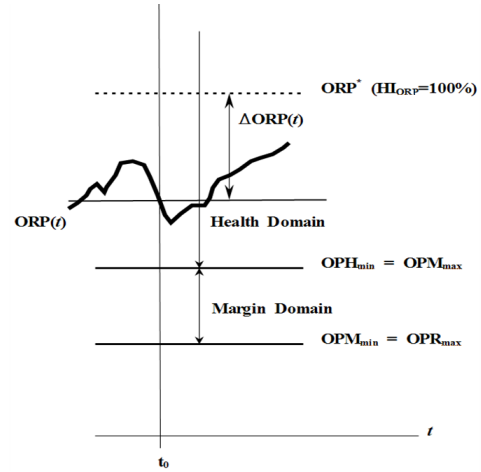


그림 4 운영예비력의 신뢰도 기준령 및 전문가 인터뷰에 의한 3개영역의 예시

Fig. 4 An example: Operating Reserve Power PSHI domain proposed newly in this paper

나. 주파수조정예비력

주파수조정예비력은 현재 정한 신뢰도기준에 얼마나 충족하는가에 바탕을 주고 정한다. 즉, 기준 주파수 조정예비력에 얼마나 가까운가를 주파수 조정 예비력의 건전성 정도를 나타내는 지수(HI_{FRP})로 삼을 수 있다. 이를 정식화하면 다음과 같다.

$$HI_{FRP}(t) = (FRP^* - \Delta FRP(t) / FRP^*) \quad (4)$$

여기서,
 Ω_v : 전압감시모선의 집합
 FRP^* : 신뢰도 기준령에서 정한 주파수조정예비력
 $\Delta FRP(t) = FRP^* - FRP'(t)$
 $FRP'(t) = \text{minimum} \{FRP(t), FRP^*\} [MW]$

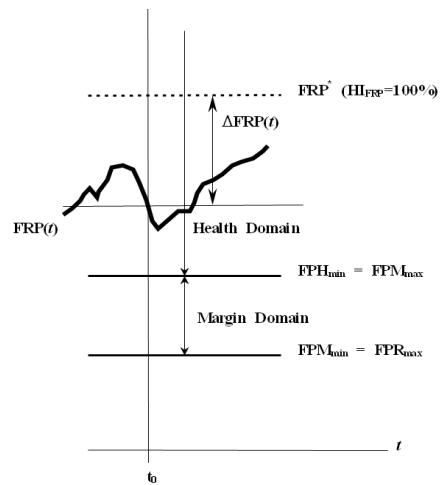


그림 5 주파수조정예비력의 신뢰도 기준령 및 전문가 인터뷰에 의한 3개영역의 예시

Fig. 5 An example: Frequency Regulation Reserve PSHI domain proposed newly in this paper

3.4 과부하

설비과부하율 건전성 지수(HI_{OVL})는 그 설비의 정격에서 얼마나 과부하로 운전 중인가 하는 설비과부하율 정도로써 나타낼 수 있을 것이다. 이를 정식화하면 다음과 같다.

$$HI_{OVL_{min}}(t) = \text{minimum}\{HI_{OVL_i}(t)\} \quad i \in \Omega_{OVL} \quad (6)$$

$$HI_{OVL_i}(t) = (OVL_{base} \times 100) / (OVL_{base} - \Delta OVL'_i(t)) = (OVL_{base} \times 100) / OVL'_i(t) \quad (7)$$

여기서,

$$\Delta OVL'_i(t) = OVL_{base} - OVL_i(t)$$

$$\Delta OVL'_i(t) = \text{maximum}\{OVL_i(t), OVL_{base}\} \text{ [MW]}$$

$HI_{OVL_i}(t)$: 임의의 시각 t 에서의 i 설비의 건전성 지수

CAP_{rated_i} : i 설비의 정격용량 [MW]

OVL_{base} : 건전성지수를 100%라고 할 수 있는 최소용량의 부하율 [pu]

$OVL_i(t)$: 임의의 시각 t 에서의 i 설비의 부하율 (= $OL(t) / CAP_{rated}$) [pu]

$OL_i(t)$: 임의의 시각에 걸린 i 설비의 실제용량 [MW]

Ω_{OVL} : 과부하 감시대상 설비요소들의 집합

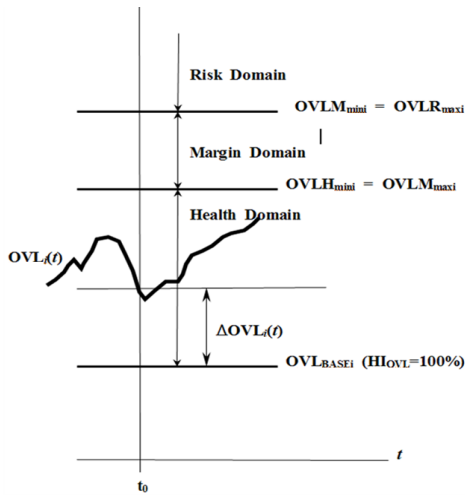


그림 6 과부하의 신뢰도 기준령 및 전문가 인터뷰에 의한 3개 영역의 예시

Fig. 6 An example: Over Load PSHI domain proposed newly in this paper

3.5 SPS

SPS 적정운전의 건전성 지수(HI_{SPS})는 다른 항목과 달리 이벤트 특성을 지니므로 신뢰도 기준령 및 전문가 인터뷰에 의한 3개 영역의 기준 특징 및 정식화는 다음과 같다.

$$HI_{SPS}(t) = \text{minimum} HI_{SPS_i}(t) \quad i \in \Omega_{SPS} \quad (8)$$

여기서,

$$HI_{SPS}(t) = \begin{cases} 100 & SPS_i(t) = 0 \\ 70 & 0 < SPS_i(t) \leq 1 \\ 30 & 1 < SPS_i(t) \leq 2 \\ 0 & 2 < SPS_i(t) \end{cases}$$

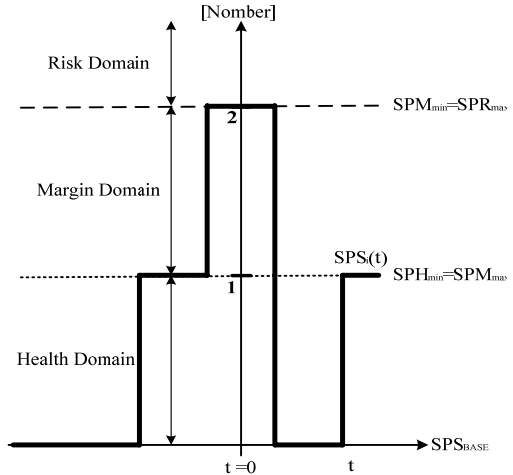


그림 7 SPS 공급적정도의 신뢰도 기준령 및 전문가 인터뷰에 의한 3개영역의 예시

Fig. 7 An example: SPS PSHI domain proposed newly in this paper

4. PSHI의 출력함수 개발

본 논문에서는 신뢰도 법령 및 전문가와의 인터뷰를 통한 결과를 토대로 각 항목별 실제 데이터 영역을 정의 하였고, PSHI 평가 결과가 실제 계통운전원이 판단하고 대응에 만족하기 위한 몇 가지 출력함수를 제시한다. 출력함수 모형으로는 Linear Proportional, Piecewise Linear Proportional, Inverse Proportional A, Inverse Proportional B 등으로 나타낼 수 있다. PSHI의 출력함수 모형을 제시하면 그림 8과 같다.

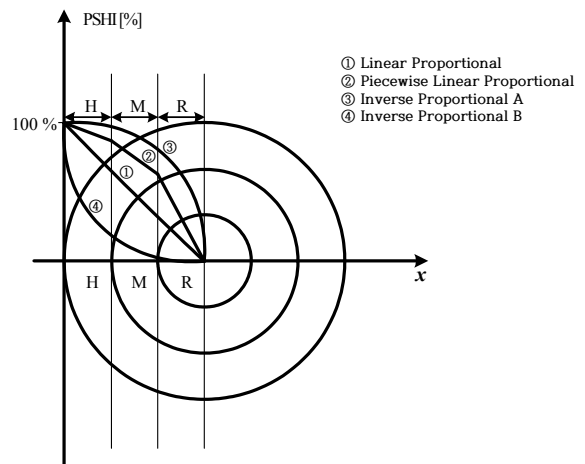


그림 8 PSHI의 출력함수 모형

Fig. 8 Various kind of output function models

5. PSHI의 Mapping 방법론 개발

PSHI의 각 대상 항목은 도메인 영역별로 값의 범위가 다르다. 따라서 건전성 지수의 Mapping 방법 및 상위개념의 PSHI의 도출을 위한 방법론의 개발이 중요하다. 각 대상 항목을 동일한 범위의 영역으로 적용시키기 위한 방법으로 각 영역을 등 간격으로 환산하여 PSHI를 적용시킬 수 있다. 각 항목들을 건전영역(Health Domain), 한계영역(Margin Domain) 및 위험영역(Risk Domain)으로 나타내기 위한 전체 순서도를 제시하면 그림 9와 같다.

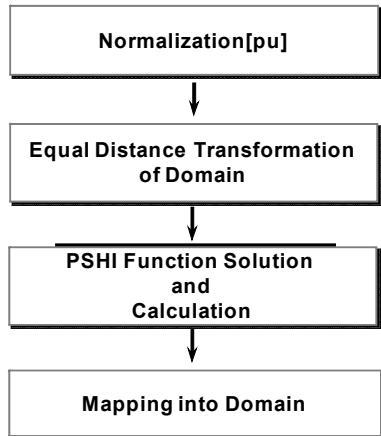


그림 9 PSHI의 Mapping 방법 순서도
 Fig. 9 Flow Chart for mapping PSHI into Domain

건전성 지수(PSHI)의 Health, Margin, Risk 3개 영역의 등 간격으로 적용시킨 개념을 보이면 그림 10과 같다.

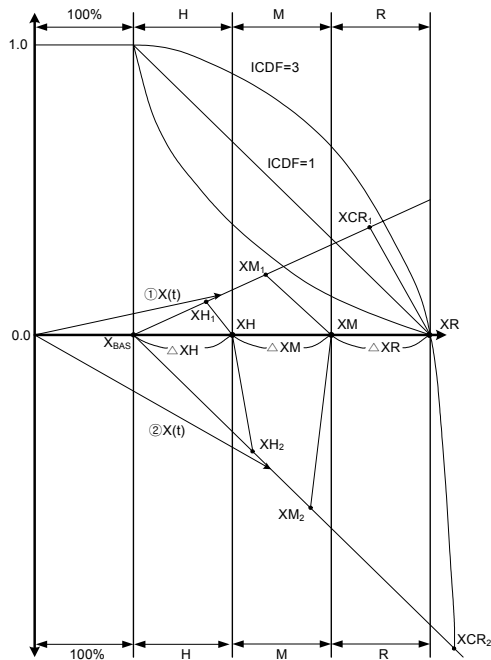


그림 10 PSHI의 3개 영역별 등 간격 Mapping 방법 개념도
 Fig. 10 Equal interval adjustment concept of PSHI mapped into three domains

6. 종합 PSHI 평가방법개발

본 논문에서는 PSHI의 상위지수 개념을 산출하기 위한 물리량이 서로 다르고 다양한 성격을 지닌다. 일반적으로 임의의 변량모집단의 대표 값으로는 변량과 빈도수를 적절히 이용한 평균치, 변량을 크기순으로 나열할 때 빈도수의 중앙 위치를 갖는 변량인 중앙값(median), 그리고 가장 빈도수가 높은 최빈값 등이 있다. 본 연구에서는 전력계통 건강도 지수(PSHI)의 대표 값으로 평균치를 이용한다. 세부적으로 PSHI를 전술한 평균치 중 산술평균, 기하평균 및 최소값에 대하여 선택성을 주도록 설계하고 PSHI의 평균치 이론을 적용하면 다음과 같다.

6.1 산술평균법

전술한 산술평균의 정의를 사용할 때 공급적정도(Adequacy) 건전도 지수인 PSHI1과 안전도(Security) 건전도 지수인 PSHI2는 각각 지수항목인 8개를 대상으로 한다. 이를 정식화하면 다음과 같다.

6.1.1 산술평균법을 이용한 공급적정도 및 안전도 지수 산출

1) 공급적정도 건전성지수(Adequacy PSHI1)

$$PSHI1 = \frac{HI_F + HI_{V154} + HI_{V345} + HI_{V765} + HI_{ORP} + HI_{FRP} + HI_{OVL} + HI_{OTF}}{8} \quad (9)$$

2) 안전도 건전성지수(Security PSHI2)

$$PSHI2 = \frac{RHI_{V154} + RHI_{V345} + RHI_{V765} + RHI_{OVR} + RHI_{OFR} + RTLX1 + RTLX2 + RSPS}{8} \quad (10)$$

6.1.2 산술평균법을 이용한 종합 건전성 지수 산출

본 논문에서 산술평균을 이용하여 최종적으로 제시하는 PSHI의 상위지수신뢰도 개념인 PSHI 종합지수는 다음과 같다.

$$PSHI = \frac{PSHI1 + PSHI2}{2} \quad (11)$$

6.2 기하학적 평균법

전술한 기하학적 정의를 사용할 때 공급적정도(Adequacy) 건전도 지수인 PSHI1과 안전도(Security) 건전도 지수인 PSHI2는 각각 지수항목인 8개를 대상으로 한다. 이를 정식화하면 다음과 같다.

6.2.1 기하학적 평균법을 이용한 공급적정도 및 안전도 지수 산출

1) 공급적정도 건전성지수(Adequacy PSHI1)

$$PSHI1 = (HI_F \times HI_{V154} \times HI_{V345} \times HI_{V765} \times HI_{ORP} \times HI_{FRP} \times HI_{OVL} \times HI_{OTF})^{\frac{1}{8}} \quad (12)$$

2) 안전도 건전성 지수(Security PSHI2)

$$PSHI2 = (RHI_{V154} \times RHI_{V345} \times RHI_{V765} \times RHI_{OVR} \times RHI_{OFR} \times RTLX1 \times RTLX2 \times RSPS)^{\frac{1}{8}} \quad (13)$$

6.2.2 기하학적 평균법을 이용한 종합 건전성 지수 산출

본 논문에서 기하학적 방법을 이용하여 최종적으로 제시하는 PSHI의 상위지수 개념인 PSHI 종합지수는 다음과 같다.

$$PSHI = (PSHI1 \times PSHI2)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

7. PSHI의 종합 개념도

본 논문에서 공급적정도(Adequacy) 측면과 안전도(Security) 측면을 고려하여 전체적인 PSHI 개발을 위한 종합 개념도를 나타내면 그림 11과 같다.

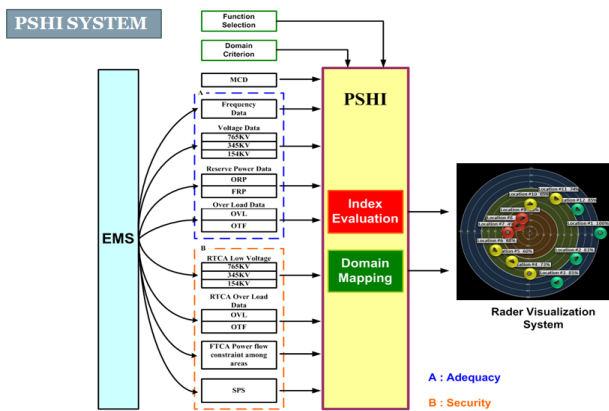


그림 11 PSHI의 종합개념도
Fig. 11 Comprehensive concept of PSHI

8. 사례 연구

8.1 PSHI의 시각화 방법

8.1.1 PSHI의 추정결과

본 논문연구에서는 개발한 건전성지수 알고리즘 모델을 이용하여 가상의 샘플 입력데이터를 통한 PSHI의 추정결과를 보이면 다음과 같다. 출력함수모형은 구간선형(Piecewise Linear Proportional) 함수모델이 적용되었다[3-7].

표 2 공급적정도(Adequacy) 측면에서 2초간격의 주파수 샘플입력데이터 예시

Table 2 Example of frequency sample input data at intervals of 2 seconds from the perspective of adequacy

공급적정도(Adequacy)	
시간[Sec]	주파수[Hz]
0	60.00
2	60.10
4	59.90
6	60.20
8	59.80
10	60.02
12	59.98
14	60.11
16	59.89
18	60.25
20	59.75
22	60.02
24	60.19
26	59.81
28	60.30
30	60.00

표 3 공급적정도(Adequacy) 측면에서 PSHI 지수 결과 값
Table 3 PSHI value from the perspective of adequacy

시간 [Sec]	HI _F [Hz]	HI _V [kV]			HI _{ORP} [MW]	HI _{OVL} [pu]	
		765	345	154		Line	TR
0	100(H)	100(H)	100(H)	100(H)	100(H)	95.1(H)	96.3(H)
2	90(H)	99.995(H)	99.985(H)	99.975(H)	98(H)	95.1(H)	96.3(H)
4	90(H)	99.995(H)	99.994(H)	99.975(H)	95(H)	95.1(H)	96.3(H)
6	80(M)	90(H)	90(H)	90(H)	89(M)	89.7(M)	92.3(H)
8	80(M)	89.993(M)	89.95(M)	89.98(M)	87.5(M)	95.1(H)	64.5(R)
10	98(H)	90.005(H)	90.014(H)	90.025(H)	82.5(M)	64.5(R)	51.8(R)
12	98(H)	90(H)	90(H)	90(H)	81.5(M)	51.8(R)	81.9(M)
14	89(M)	90.005(H)	90.005(H)	90.025(H)	72(R)	95.1(H)	96.3(H)
16	89(M)	89.994(M)	89.987(M)	89.994(M)	64(R)	95.1(H)	92.3(H)
18	40(R)	80(M)	80(H)	80(M)	40(R)	89.7(M)	96.3(H)
20	40(R)	79.92(R)	79.92(R)	79.92(R)	87.5(M)	95.1(H)	96.3(H)
22	98(H)	80.006(M)	80.05(H)	80.02(M)	85.5(M)	95.1(H)	96.3(H)
24	81(M)	80(M)	80(H)	80(M)	85.5(M)	95.1(H)	83.0(M)
26	81(M)	80.005(M)	80.015(H)	80.005(M)	87(M)	89.7(M)	92.3(H)
28	0(R)	79.92(R)	79.92(R)	79.92(R)	93(H)	95.1(H)	96.3(H)
30	100(H)	100(H)	100(H)	100(H)	91(H)	95.1(H)	96.3(H)

표 4 안전도(Security) 측면에서 PSHI 지수 결과 값
Table 4 PSHI value from the perspective of security

시간 [Sec]	HI _V [kV]			HI _{OVL} [pu]	
	765	345	154	Line	TR
0	100(H)	100(H)	100(H)	95.396(H)	95.396(H)
2	99.997(H)	99.988(H)	99.988(H)	86.123(M)	86.123(M)
4	99.997(H)	99.996(H)	99.995(H)	96.72(H)	96.72(H)
6	90(H)	90(H)	90(H)	100(H)	100(H)
8	89.998(M)	89.997(M)	89.994(M)	96.72(H)	96.72(H)
10	90.002(H)	90.011(H)	90.011(H)	95.396(H)	95.396(H)
12	100(H)	90(H)	90(H)	81.543(M)	81.543(M)
14	99.997(H)	90.004(H)	90.004(H)	80.91(M)	80.91(M)
16	99.997(H)	89.996(M)	89.992(M)	100(H)	100(H)
18	90(H)	80(M)	80(M)	97.933(H)	97.933(H)
20	90.002(H)	79.92(R)	79.92(R)	85.77(M)	85.77(M)
22	89.998(M)	80.002(M)	80.005(M)	86.253(M)	100(H)
24	80(M)	80(M)	80(M)	100(H)	100(H)
26	80.001(M)	80.003(M)	80.007(M)	100(H)	100(H)
28	79.92(R)	79.92(R)	79.92(R)	86.123(M)	86.123(M)
30	100(H)	100(H)	100(H)	100(H)	100(H)

8.1.2 PSHI의 시각화 방법

본 논문에서는 각 항목을 계통운전원이 PSHI 평가 결과를 시각적으로 판단하고 대응에 만족하기 위하여 PSHI의 시각화 방법으로 엑셀과 맥북을 이용하였다. 이 두 가지 방법은 차후 검증용으로 활용하여 더욱더 알고리즘의 보완에 있어 효율적으로 활용할 예정이다. 간단한 시각화 화면을 보이면 다음과 같다.

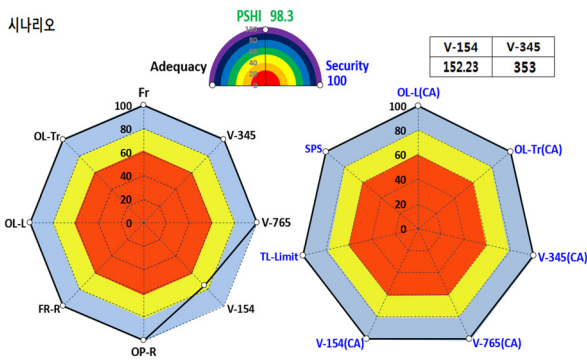


그림 12 엑셀을 이용한 PSHI의 시각화 방법화면
Fig. 12 Screen of PSHI visualization using EXCEL

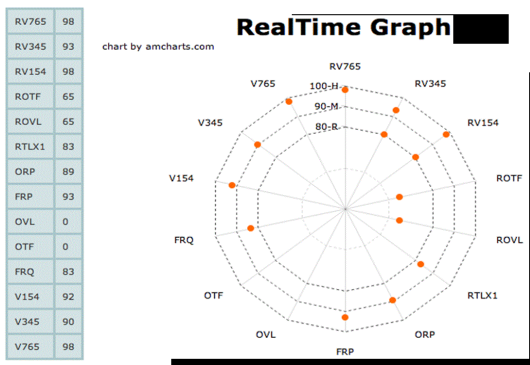


그림 13 맥북을 이용한 PSHI의 시각화 방법화면
Fig. 13 Screen of PSHI visualization using MacBook

8.1.3 시각화 방법을 이용한 시나리오 시뮬레이션

본 논문연구에서 개발된 PSHI 알고리즘을 EMS 실적 데이터와 가상의 데이터를 이용하여 실증한 사례를 샘플로 삼아 검토하여 보았다. 계통상황은 다음과 같다.

- 한빛원자력 6호기 탈락으로 주파수 저하 및 수급경보 (관심)발령의 계통상황(2013년 8월 21일(수))

- 1단계: 13:33 : 수급경보 준비단계 발령
- 2단계: 14:44 : 한빛원자력 #6Gen Trip(1,032MW)
- 3단계: 15:28 : 수급경보 관심단계 발령
- 4단계: 17:50 : 수급경보 관심단계 해제
- 5단계: 17:55 : 수급경보 준비단계 해제

사례연구에서 본 검증 데이터는 실제 계통에서 모든 요소가 연동된다. 다만 알고리즘의 부분에 대한 사례를 살펴본 것으로 연관성이 높은 항목만 변화시키고 나머지는 고정시켰다. PSHI의 시각화 방법 중 엑셀을 이용한 방법으로 시각화 하면 다음과 같다.

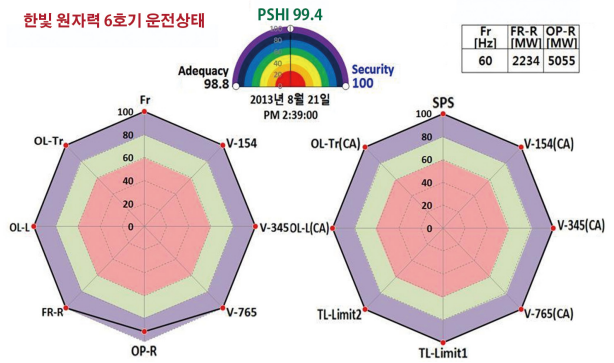


그림 14 PSHI의 시나리오 시뮬레이션 시각화 화면 I
Fig. 14 Screen I of PSHI scenario simulation visualization

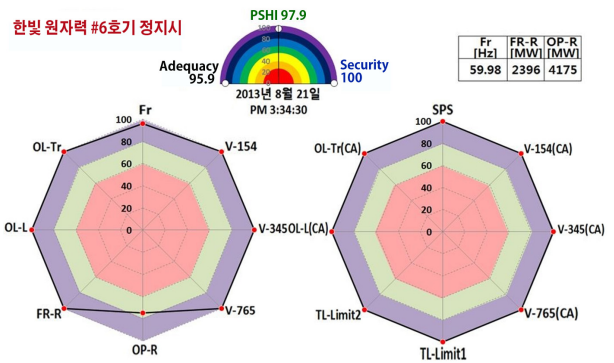


그림 15 PSHI의 시나리오 시뮬레이션 시각화 화면 II
Fig. 15 Screen II of PSHI scenario simulation visualization

9. 결론

본 논문에서 제안하는 PSHI(Power System Health Index)의 개념도는 실제 계통운전원이 계통에 대한 직관적이고 신속한 상황판단과 효율적인 감시 및 의사결정을 지원해 줄 수 있도록 레이더망에 Mapping을 하여 시각화한 개념을 새롭게 제안하였으며, 더불어 직관적이고 가시적인 건전성 지수 표현하기 위한 몇 가지 출력함수 형태 및 상위개념의 PSHI 지수 도출 방법을 소개한다. 따라서 이번 논문에서 제시하는 PSHI 지수의 정식화는 신뢰도 지수의 이론적 기반 확립과 알고리즘 개발을 제안하며, 추가적으로 실제 계통에 어떤 출력함수 모형을 적용해야 되는지는 다양한 시나리오를 통해서 PSHI 결과 값의 정확성과 신뢰성 부분을 확보해야 할 것으로 사료된다. 이는 현재 기준 및 전문가와의 인터뷰를 통한 결과를 토대로 건전영역(Health Domain), 한계영역(Margin Domain) 및 위험영역(Risk Domain) 등 3가지 영역으로 나누고 이에 대한 Mapping을 기초로 하였으며, 공급적정도(Adequacy) 측면과 안전도(Security) 측면으로

분류한 세부 항목에 대해 각각의 가상의 입력데이터와 결과를 제시한다. 더불어 사례연구를 통해 구간선형(Piecewise Linear Proportional) 출력함수 모형을 적용한 PSHI 결과 값은 차후 레이더망에 시각화하여 계통에 대한 효율적인 판단이 극대화할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 출력함수 모형과 도메인은 급전원의 개인의 성향에 따라 적용조건이 다르므로 보다 정확한 계통감시를 위하여 추가적인 출력함수 개발 및 도메인 정의에 대한 대비책 등도 함께 개발되어야 할 것으로 사료된다.

본 논문에서 제안하는 PSHI의 최종 활용에 앞서 본 검증 데이터 중 실제상황에서 계통데이터 확보가 어려운 항목들은 모의된 자료로써, PSS/E를 통한 시뮬레이션 결과 자료나 계통상황을 가정한 EMS 데이터 편집을 통하여 상황을 구성하였다. 세계최초로 시도된 실시간 계통운영의 신뢰도 지수 사정 연구가 계통 운전원에게 또 하나의 감시해야하는 화면이 부가되는 부담이 아니라, 기존의 다수 화면을 통합해서 기존의 다수의 개별화면을 가지적이고 직관적인 지수로써 계통을 실시간 감시하고, 핵심요소는 선행감시 후 개별화면인 심층감시로의 단단계 스마트 감시체계를 마련하는 유용한 지원 틀 개발을 위한 알고리즘 개발 및 검증과 관련하여 제안하는 논문이다.

끝으로 본 논문은 어디까지나 신뢰도기준을 어떻게 결정하는냐?가 아니라 이와 같이 결정된 상황에서 건전도 지수를 산정하는 모형 및 시각화(비주얼)시스템을 여하히 개발하는냐?에 중점을 두었다. 한편, 신뢰도기준결정은 그 자체만으로도 매우 중요한 연구대상이므로 차후 여건이 허락하면 인터뷰를 통한 의사결정모형인 The Delphi method와 같은 알고리즘을 이용하여 보다 정밀한 신뢰도기준의 결정을 위한 연구도 시도할 예정이다 [10], [11].

감사의 글

본 연구는 한국전력거래소 및 한국연구재단(과제번호:2012R1A2A2A0101)의 지원에 의하여 수행된 과제로서 관계기관에 감사드립니다.

References

[1] BNF Technology, "Plant Health Index", Dec. 2008
 [2] <http://www.motie.go.kr>
 [3] Jintaek Lim, Jinhwan Jang, Jaeseok Choi, Hongseok Choi and Hoseok Choi, "Function Form Analysis of Power System Health Index", 2013KIEE Power System Research Association Spring Conference, Jeju, April 19-20, 2013
 [4] Jintaek Lim, Sunghun Lee, Jaeseok Choi, Hongseok Choi and Hoseok Choi, "Development of Power System Health Index", 2013KIEE Power System Research Association Spring Conference, Jeju, April

19-20, 2013

[5] Jintaek Lim, Jinhwan Jang, Jaeseok Choi, Hongseok Choi and Mahmud Fotuhi-Firuzabad, "A Development of Power System Health Index and Domain", ISGC&E 2013, Jeju, July 8-11, 2013
 [6] Jintaek Lim, Yeonchan Lee, Jaeseok Choi, Hongseok Choi and Hoseok Choi, "Development of Power System Health Index Model and Visualization", 2013KIEE Summer Conference, Jeju, July 10-12, 2013
 [7] Jintaek Lim, Yeonchan Lee, Jaeseok Choi, Hongseok Choi and Hoseok Choi, "A Development of Power System Health Index and Domain", 2013 The International Conference on Electrical Engineering, July 14-17, 2013
 [8] NERC "Integrated Reliability Index Concepts" NERC Report, Integrated Reliability Index White Paper DRAFT, 2012.
 [9] R. Billinton and G. Lian, "Composite Power System Health Analysis using a Security Constrained Adequacy Evaluation Procedure", IEEE, Vol.PS-9, No.2, pp.936-941, May 1994.
 [10] Harold A. Linstone & Murray Turoff, "The Delphi Method Techniques and Applications" 2002.
 [11] Payman Dehghanian, Moein Moeini-Aghaie, Mahmud Fotuhi-Firuzabad, and Roy Billinton, "A Practical Application of the Delphi Method in Maintenance-Targeted Resource Allocation of Distribution Utilities", PMAAPS2014, Durham, July, 2014 UK.

저 자 소 개



임진택(Jin-taek Lim)

1985년 8월 1일생. 2011년 경상대 전기공학과 졸업. 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2013년~동 대학원 전기공학과 박사과정.
 Tel : 055-772-1715
 Fax : 055-772-1719
 E-mail : jtlim@gnu.ac.kr



이성훈(Sung-hun Lee)

1984년 11월 25일생. 2011년 경상대 전기공학과 졸업. 2012년~현재 경상대 석사과정.
 Tel : 055-772-1715
 Fax : 055-772-1719
 E-mail : hun22ya@gnu.ac.kr



이 연 찬(Yeon-chan Lee)

1984년 11월 25일생. 2011년 경상대 전기공학과 졸업. 2012년~현재 경상대 석사과정.

Tel : 055-772-1715

Fax : 055-772-1719

E-mail : hun22ya@gnu.ac.kr



최 재 석(Jae-seok Choi)

1958년 4월 29일생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1991년~현재 경상대 교수.

Tel : 055-772-1715

Fax : 055-772-1719

E-mail : jschoi@gnu.ac.kr



최 홍 석(Hong-seok Choi)

1969년 10월 25일생. 1994년 경북대 전기공학과 졸업. 2008년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년~현재 전력거래소 계통운영처 수급계획팀 차장.

Tel : 02-3456-6821

Fax : 02-3456-6828

E-mail : hongseok@kpx.or.kr



주 준 영(Joon-Young Joo)

1964년 1월 4일생. 1986년 전북대 전기공학과 졸업. 2012년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 전력거래소 계통운영처 계통기술팀 팀장.

Tel : 02-3456-6760

Fax : 02-3456-6828

E-mail : zoo@kpx.or.kr