

전력시장체제하에서의 전력품질제어 매커니즘에 대한 모델링

이근준
충북과학대학 전기에너지시스템과

윤석호
김천대학 전기과

G.T. Heydt
ECE, Arizona State Univ.

A Model for Power Quality Control Mechanism for Electric Power Market

Geun-Joon LEE
EE, Chungbuk Science & Technology College

Suk-Ho Yun
Kimchon College

G.T.Heydt
ECE Arizona State Univ.

Abstract - To provide a specified power quality under electric market system is becoming an important issue for customers and utility company. However, there is no realistic infra-structure to design a power system for the specified power quality. Present electric market is operating under the economic point of view. The low price could be attractive, but the effect of low price and low power quality for the long time should be considered for the system safety. This paper presents a model which conceptualize the dynamic power quality control mechanism to minimize total cost of a society which is affected electric power quality. This model aims to produce a basic infra-structure to balance cost and quality under the electric market system.

전력향상 설비를 구입하려는가에 관련하여 수많은 조사가 이루어져 있다[예컨대 7,8]. 가변속 드라이브의 전압 민감도에 대한 특별한 문제, 그리고 반도체 생산 산업체의 요구들은 커다란 주목을 끌고 있다. 신뢰도와 사회적인 정책에 관해서는 기술문헌 또는 신문들에서 다루어 왔던 것이다. 참고문헌 [9]는 복잡한 상호문제들에 대한 요약물 표 1에 제시하고 있다. 분명히 저가격은 수용가와 제어분야에서 인기있는 이슈이지만, 저가/저품질의 장기간 영향은 깊고 넘어가야 할 것이다. 그리고 엔지니어링에서는 가격 대 품질의 적정한 평형을 취해야 할 것이다. 전력품질의 요구와 가격, 그리고 엔지니어링 능력 상호간의 문제들은 관심을 끌지 못하고 있다. 이 가격의 상호작용은 동적시스템으로 볼 수 있으며, 이것이 이 논문의 주된 논점이다.

1. 서 론

1. 전력품질

전력품질 시장의 규제완화에 따라 전력품질을 보장하는 것은 전력공급자와 수요자 양측에 보다 중요한 관건이 되었다[1]. 수요자들은 디지털 설비의 보급에 따라 보다 나은 품질을 요구하게 되었다.[2]. 그렇지만 전력시스템을 어떤 특정한 수준의 품질에 맞추어 디자인하는 것을 촉진하는 구체적인 기반 구조는 존재하지 않는다. 전력품질의 가격 문제는 여러 관점에서 제기되고 있다. 예를 들면 동태 전압 보상 기술을 사용하여 전력을 조절하는 가격은 광범위하게 논의되고 있으며, 최근에 상용화되고 있다[3]. 종합적이고 분산적인 전력품질 향상 기본 개념들은 [4]에 제시되었다.

표 1 사건과 투자에 대한 상호간 이슈

| 요소 | 영향 |
|------------|---|
| 연속적인 사건 | 작은 사건이 큰 영향을 주는 탈락과 가격으로 발전하는 가능성 |
| 의사결정 | 중중 의사 결정자들은 가격제어에는 숙련되어 있지만 앞으로 탁월함을 찾아내는데는 숙달되어 있지 않으며 기술적 검토능력이 부족함 |
| 비용 균등화 | 비용의 균등한 배분 |
| pareto 최적화 | 엔지니어링, 윤리, 환경 그리고 사회적 요구의 상호충돌에 대한 관리 |

이 논문은 배전계통에 대한 전력품질 관리를 다루고 있다. 전력품질 가격의 정보는 전력품질 투자와 이로 유발된 가치상승의 비율과 같은 것이 될 수 있다. 이 논문에서는 배전 시스템에 한하여 제한된다. 종합 전력품질 평가와 제어의 체계적인 접근이라는 관점은 보다 일반적인 해석적인 전력품질제어와 투자에서 이루어질 수 있다. 일련의 전력품질 지표, 전력품질 개선 방법들이 [5]에 소개되고 있다.

2. 본 론

2.1 전력품질 문제의 가격 정량화

전력 시스템의 수요자들은 산업용, 상업용, 주거용으로 분류된다. 각 서비스의 범주내에는 전력의 수준, 전압 수준, 차단 가능성, 수용가의 선택에 따라 일반적으로 많은 요금스케줄이 있다. 월간 전력요금 청구서는 보통 3가지의 주요소, 즉 서비스요금, 에너지 요금 그리고 전력요금으로 구성된다. open access 하에서 전력서비스 요금은 두개의 주 요소인 경쟁적인 서비스와 전송서비스로 구성된다.

규제완화된 전력시장에서 전력품질은 시장의 경쟁력을 좌우할 수 있는 독립요소중의 하나이다[6]. 전력품질의 가치 그리고 얼마나 많은 수요자들이 향상된 품질에 대한 비용을 부담하려는가 그리고 얼마나 많은 산업체들이

미국의 국가적인 공급차단비용과 다른 품질 이슈 관련비용들은 여러 가지 기관과 연구자들에 의해 조

사된 바에 따르면 30억에서 1조 미달러에 이르는 것으로 평가되고 있다[11]. 이 비용의 계산은 명백한 계산법이 없기 때문에 매우 가변성이 높다. 비용은 산업체의 차단 또는 손실비용일 수도 있으며, 또 전력품질을 유지하기 위한 설비비용일 수도 있으며, 특히 배전분야에서는 엔지니어링 비용일 수도 있다. 배전변압기에서 하모닉에 의한 실제 에너지 손실 비용이 포함될 수도 있다. 국가에 대한 전력 차단과 부적절한 전력 품질에 대한 직접적인 경제적 손실은 부적절한 투자의 결과로 볼 수도 있다[3]. 배전 계통의 요금을 설정하는데 기본적인 이슈는 전력 품질을 계상하거나, 또 그의 적정가격을 설정하는 아무런 매커니즘이 없다는 것이다. 현재의 요금 시스템은 전력 품질의 요소를 경제적 손실을 보상하기 위해 반영하고 있다. 경제적 손실들은 표 2에 있다.

표 2 전력 품질의 저하에 의한 경제적 손실[12]

| 손실 | 전력사업자 | 수용가 |
|-------------------------------|-------|-----|
| 실제 산업 제품 손실 | | o |
| 특정 수준의 전력 품질을 유지하기 위한 설비의 가격 | o | o |
| 금융서비스와 같은 상업부문에서 정전에 의한 영업 손실 | | o |
| 요금 수입의 감소 | o | |
| 주거용에서의 성가심 | | o |

이들 손실은 공급자와 수요자 사이에 적절히 계상되어야 할 것이다. 전력 시스템은 특히 반도체 제작사와 같은 전력 품질에 민감한 수용가에 대해 특정 품질 지표에 의해 계획, 운용되어야 한다. 표 (3)은 시스템 부하의 3 분야에서 대표적인 수용가들의 고장비용을 나타낸다.

표 3 대표적인 수용가들의 공급지장비용[16]

| 국가 | 년도 | 방법 | 자료원 | 공급지장비(1991, US\$/k조) | | |
|-----|------|--------|-------------------|----------------------|------------|-----------|
| | | | | 주거용 | 상업용 | 산업용 |
| USA | 1985 | 실제손실조사 | Subramanian | 3.97-6.15 | 10.69-24.4 | 5.79-1.85 |
| | | I/O 해석 | Anderson & Taylor | 0.50-1.7 | 11.5-09 | 5.10-1.3 |
| 캐나다 | 1980 | 실제손실조사 | Ontario Hydro | 13.3-6.05 | 2-6.92 | 7.22-6.92 |

2.2 전력 품질 수준 측정과 전력 품질 투자의 모형화

전력 품질 수준의 설계는 시스템 설계와 투자의 적정성을 평가하는데 중요하다. 불행히 모든 요구사항들이나 고려 조건들, 일부는 서로 상충하는 것들을 수용할 수 있는 단일 측정값은 없다. 표 4는 순간적인 사건들에 연관된 일부 유력한 측정치들을 나타내고 있으며, 표 5는 일부 연속적이고 반복적인 현상들을 정량화한 일부의 측정치들을 나타내고 있다.

표 4. 전력 품질의 적정성을 대표하는 전력 품질 지표들

| 지표 | 약자 | 정의 | 적용 |
|---------------------|----------|--|--------------------------------------|
| 시스템 평균 차단 빈도 지표 | SAIFI | 순간차단에 대해 (총순간차단수)/(총피관측전송지점수) 지속차단에 대해 (총지속차단수)/(총피관측전송지점수) | 서비스 중단을 횡수, 시간, 가혹한 정도로 영향을 평가하는데 적용 |
| 시스템 평균 차단 기간 지표 | SAIDI | (총 차단기간)/(총 피관측전송지점수) | |
| 시스템 평균 복구 지표 | SARI | (모든 정전의 총기간)/(총지속차단의 수) | |
| 전송점비신뢰도 지표 | DPUI | (총 미공급에너지 MW-min)/(시스템 침투부하 MW) | 에너지 차단에 의한 전력 품질 영향 평가 |
| 시스템 평균 RMS 변화 빈도 지표 | SARFI %V | (변화에 대해 rms(%V)를 겪은 수용가수)/(총 수용가수) | 전압 sag를 평가하는 방법 |
| 수용가 평균 차단 기간 지표 | CAIDI | SAIDI/SAIFI | 수용가 평균 정전 시간 |

표 5. 연속적인 현상: 전력 품질 측정값

| 지표 | 정의 | 주요 응용 |
|----------------|--|-----------------------|
| 총 고조파 왜율 (THD) | $\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_i^2}}{I_1}$ | 일반적, 표준 |
| 역률 (PF) | $\frac{P}{ V I }$ | 손실 보상 |
| IT곱 | $\sqrt{\sum_{i=1}^{\infty} w_i^2 I_i^2}$ | 음향피로 간섭, 병렬커패시터의 스트레스 |
| VT곱 | $\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} w_i^2 V_i^2}$ | 전압왜곡 지표 |
| K factor | $\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} h^2 I_h^2 / \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$ | 몇압기 용량 감소 |
| 파고율 | $\frac{V_{peak}}{V_s}$ | 유전체 스트레스 |
| 불평형율 | $\frac{ V_- }{ V_+ }$ | 삼상 회로 평형 |
| 플리커율 | $\frac{\Delta V}{ V }$ | 전동, 모션전압조정, 충분한 단락용량 |

전력 품질을 측정하는 문제에 대해서는 많은 의견이 있었다(예 [13]). 그러나 이들 측정의 대부분은 주어진 조건이나 경우에 대한 정량화와 연관되어 있다. 이 지표들은 가격 또는 집합적인 수용가에서 본 전력 품질의 영향에 대한 측정값에 초점을 둔 것은 아니었다. 표 4에 든 지표들은 전력 품질의 종합적인 영향을 측정하는데 주로 사용하는 것이다.

Chowdhury 와 Koval[14]은 이들 여러 지표들을 경쟁시장에 전력 품질이 주는 영향으로 연관시켰다. 전력 품질의 측정은 특정 시스템의 현상을 잡을 수 있는 제량의 벡터로 되어야 한다고 제안하였다. 이 접근을 함으로써

선택가능한 전력품질 벡터의 요소에서 필요한 일부요소를 쓰는 것이 가능하다. 심볼 λ 는 이 벡터로 제안되었다.

완전히 규제완화된 전력시장에서, 전력시스템은 그림 1의 네가지 요소의 조합으로서 고려할 수 있다.

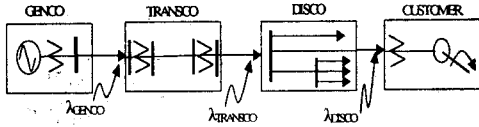


그림 1. 전력품질에 의해 제어되는 전력시스템

발전회사(GENCO)는 전압의 크기, 주파수, 신뢰도 그리고 하모닉내용들을 포함하는 전력품질 수준 λ_{GENCO} 을 가지고 있다. 에너지는 송전회사(TRANSCO)로 전송되며, $\lambda_{TRANSCO}$ 의 전력품질 수준을 가지게 된다. TRANSCO 전력품질 지표에는 전압 크기(특히 sag와 다른 시스템 외란) 및 하모닉등을 포함한다. 주된 전력품질 눈점은 배전시스템인데 전력품질의 저하가 배전 시스템에 직면한 문제이기 때문이다. 배전시스템(DISCO)는 전력품질 수준 λ_{DISCO} 를 갖고 있다. DISCO 전력품질 수준에는 앞에서 언급한 문제가 되는 모든 상황을 포함한다. λ 항목을 어떻게 결정하는가 하는 데 대한 주된 눈점은, 모든 사건을 포함할 수 있으며, 모든 환경에 타당한 단일 측정치는 없는가 하는 것이다. λ 에 대한 정의는 표 4에 나타난 지표들의 벡터이다. 이때, λ 의 정의는 대부분의 중요한 전력품질 엔지니어링 과정을 포함할 수 있도록 의도적으로 모호하게 하였다.

만약 전력시스템이 특정 전력품질 지표에 의해 계약되고 운전되며, 필요한 전력 품질을 만족하도록 품질지표 λ 에 의해 설계, 운전된다고 가정하면 그림 1의 각 요소들은 어떤 동적제어시스템으로 볼 수 있다. 전력품질 제어와 동적 프로세스의 변화 과정은 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 요구 전력품질 수준은 $\lambda_{PQRequired}$ 로, 실제 전력품질의 수준은 $\lambda_{PQActual}$ 로 되어 있다. 전력품질에 영향을 주는 다른 입력들은 부하(L), 일기, 사회적인 고려사항, 엔지니어링 의사결정등이다. 그림 2의 주된 관점은 전력품질은 전력시스템의 상호 동적 특성에 의해 결정된다는 것이며, 이는 여러 가지의 자극, 비용-엔지니어링-사회적 요구사항-그리고 품질 간의 상호작용으로 된다는 것이다. 그림 2의 신호 경로들은 실제 전기적인 신호라기보다는 정보의 흐름이라는 것에 유의하여야 한다.

위의 기본적인 전력품질 엔지니어링 모형에 보상프로그램이 추가되어 제안되고 있다. 보상프로그램은 전력품질 운전수준의 결과인데, 낮은 품질의 전력을 받는 수용가들은 그들의 불편에 대한 보상을 받게 된다. 이것을 그림 2에서 i-th rebate program 블록으로 나타내었다

데, 이는 가합점에서의 추가격에 기여하게 된다.

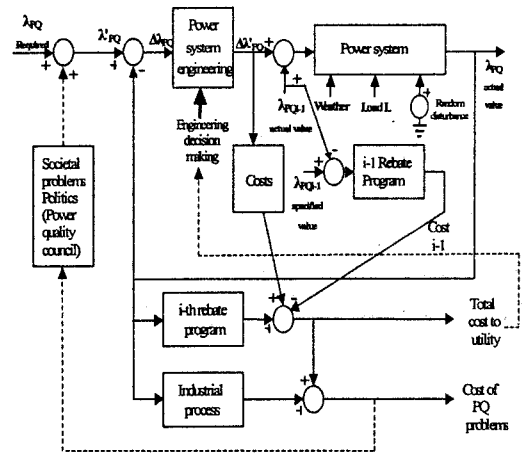


그림 2. 전력품질 제어의 개념도

Rebate 프로그램에 참여하면 비용이 발생되는데, 이것은 앞에서 말한 가합점에서 마이너스 비용이 된다. 전력회사의 총 비용은 그림 2에 나타나 있다. 산업 프로세스에서 정전들은 "industrial process"로 표시된 블록으로서 모형화하였으며, 전력품질문제의 총비용이 표시되었다. 다른 한편으로는 전력품질의 총비용은 사회 비용으로 돌아간다. 이 사회비용은 부분적으로 정치적이면서 부수적인 문제이다. 이 때문에 그림 2에서는 사회블록을 입력력간 점선으로 나타내었다. 이와 같이 배전 분야의 엔지니어링 의사 결정들은 부분적으로 총 품질비용에 의해 결정된다. 따라서 엔지니어링 의사결정은 그림 2의 총 전력회사 비용에서 점선에 의해 구동되는 것으로 표시하였다. 그림 2와 같이 제안된 전력품질 기반모형에서 소요 품질수준 $\lambda_{PQRequired}$ 는 사회와 정치적인 이슈들과 비교된다. 즉 인기있는 여러 가지의 품질 수준을 받아들여지게 된다.

전체 프로세스의 결과 어떤 비용이 나오게 된다. 그 결과 전력품질 수준에서 요구되는 변화는 전단계의 실제 전력품질 수준인 Ia 와 합쳐진다. 결과 값은 전력시스템에 채용될 것이다. 전력시스템 자체는 여러가지 불분명한 입력들, 예를 들면 부하, 일기, 외란과 같은 것들을 받게 된다. 모형에서 산출되는 출력은 Ia 이다. 전력품질에 대한 낙천적인 해석은 나쁜 특성들이 모두 상쇄되거나 최소화되는 전력시스템의 총체적인 좋은 특성이 다.

엔지니어링 의사 결정의 과정은 전력품질의 엔지니어링 기반 구조와 과정의 디자인에 있어 중요하다. 전력품질 엔지니어링에는 여러가지 계획성과 운전 의사 결정과정들이 포함된다. 만약 거기에 현재와 희망 전력품질 사이의 오차가 있다면, 엔지니어링 과정에서 일련의 대체가 능한 계획을 세울 것이다.

전력품질의 엔지니어링은 전력품질 상의 요구들을 충족시키기 위해서 보통의 엔지니어링 과정과는 뭔가 다른 점이 있다. 만약 요구조건들이 단순하고 배전선로에 연결된 산업체와 같은 일부 수용가들에 국한된다면 그런 엔지니어링 프로세스는 비교적 간단한 해답을 얻을 수 있다. 이와 반대로, 만약 요구조건이 크고 시스템 전체에 걸쳐있는 경우, 그리고 의사결정의 영향이 많은 다른 수용가에 영향을 주는 경우는 문제는 간단하지 않다. 그런 해답은 다목적 함수를 갖는 운용계획의 수식을 품으로써 얻을 수 있게 된다.

주어진 시스템 조건과 품질 한계, 재정적 한계, 그리고 시간의 제약을 가진 함수

$$C(x, y, q, t) :$$

(x는 추가 설비의 값, y는 전력시스템변수(운전비), q는 전력품질 인덱스, t는 의사결정을 하는데 필요한 시간)를 최소화하는 문제로 볼 수 있다.

표 6. 전력품질 제어 인프라 상에서 시스템과 상호 동적 메카니즘의 출력에서 본 전력품질 저하에 대한 영향

| 전력시스템상의 영향 | 상호연관성의 동적 메카니즘의 출력 |
|--|--|
| 부하 특성/변화 : 전력시스템상의 대부분 변수들은 부하 특성과 변화에 영향을 받는다. 이들 입력은 시스템이 큰 경우(즉 전력회사 1개의 차원에서 보면) 일련의 복합 부하로 모델화할 수 있다. | 전력시스템의 품질 |
| 전력시스템에 대한 외란 : 일기, 사고, 설비고장은 전력 품질에 영향을 준다. 이는 통계함수로 모델화할 수 있다. | 전력회사의 비용 : 이들에게는 지정한 전력 품질을 만족시키기 위하여 설계된 새 전력설비에 대한 설치와 운전비가 포함된다. 전력 품질을 평가하기 위한 엔지니어링 비용들과, 보상 비용들도 포함된다. |
| 날씨는 부하외란 그리고 시스템 용량에 영향을 준다. | 전력 품질의 보상 프로그램은 계약 차원에서 고려되어야 한다. 이 프로그램은 전력회사가 전력시스템에 대한 투자에 적절한 의사결정을 할 수 있도록 하는데 중요하다. |
| | 전력 품질 문제에 의한 산업체와 사회 비용 : 이 출력은 계약상에서 산업체에서 바람직하지 않은 부수적인 비용으로, 지정되지 않고 생략된 변수들에 포함될 수 있다. |

전력시스템의 영향은 표 6에 나타나 있는데 상호 연관성을 가진 다이나믹 메카니즘 출력도 함께 나타내었다. 요구되는 전력품질의 변형인 는 전력품질 엔지니어링

블록의 입력인데 이 파라메타는 다양한 사회의 의견들을 반영하기 위한 구조적인 단계에서 결정되어질 수 있으므로 출력으로 간주될 수도 있다. 의사결정 엔지니어링과 cost와 같은 각 블록의 제어 함수를 찾아내는 것은 쉬운 작업이 아니지만, 이는 인공지능적인 함수에서 제한된 시정수를 가진 제어함수로 가정할 수 있다.

2.3 전력품질 인프라 구조에의 적용

전 장에서 제시한 개념적인 모델을 가지고, 전력품질 제어 시스템은 비용과 품질저하를 최소화하는 다목적 최적화 문제로 해석될 수 있다. 그림 2에서, 공급자와 수요자는 특정 전력품질 인덱스에 동의한 것으로 한다. 만약 받아들일 수 없는 품질이 검출되면 전력시스템 엔지니어링 블록은 그 신호를 전력회사의 목표를 달성하기 위한 일련의 의사결정을 내놓기 위한 신호를 처리하게 될 것이다. 이 프로세스를 그림 3에 나타내었다.

전력품질의 동적-상호메카니즘의 내용이 일련의 추정장비, 소프트웨어 과정 데이터 베이스로 구성되어 있으므로 많은 요소들은 인공지능 함수 또는 제한된 시정수를 갖는 프로그램으로 구성되어 있기 때문에 단순히 입/출력관계로 나타낼 수 있다. 예를 들면 하모닉 전압품질은 시스템 SSC(Short Circuit Capacity)에 관련되어 있다[11, 13]. 이런 형태의 상호연관성은 동적 상호연관 시스템을 보다 추적 가능케 한다. 바라는 전력품질 수준을 얻기 위한 선택적인 해의 평가를 위한 컴퓨터 모의는 가능하게 된다. 그림 2는 전력품질 인덱스를 갖는 다목적 최적화 해를 갖는 제어시스템으로 취급될 수 있다.

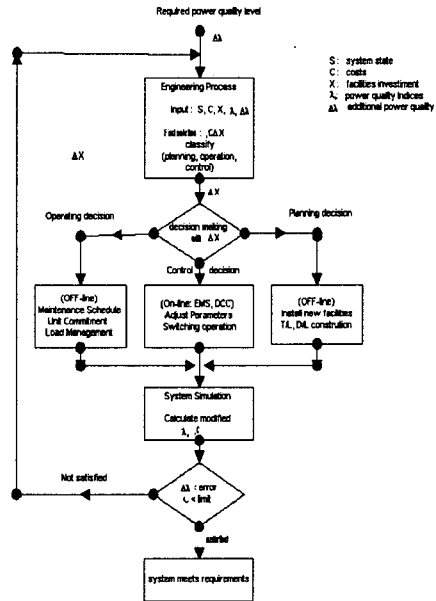


그림 3. 엔지니어링 프로세스

엔지니어링 프로세스의 첫단계에서, 전력시스템을 해석

하여 에라를, 즉 시스템의 실제 품질과 요구품질과의 차이를 엔지니어링 해들로 바꾸는 것이 필요하다. 전력조류해석, 고장해석, 하모닉해석, 하모닉 전력조류해석, 안정도해석 및 다른 해석을 포함하는 여러 종류의 정상해석 또는 과도해석들이 에라의 원인과 시스템 퍼포먼스를 증가시키기 위한 추가 요구들을 만족시키기 위해 필요하다. 이 정보들을 가지고, 문제와 적합한 하나 이상의 대책들이 제어, 운용, 계획상에서 수립된다. 최적 전력품질 대책을 찾아내기 위해, 모든 엔지니어링 요소를 포함하는 비용-이득 해석이 필요하다. 보통, 제어프로세스는 가장 가격이 싸고 빠르다. (그리고 아마 의사결정자들에게 가장 수용가능한 해일 것이다). 그러나, 제어의 응용은 종종 현재 시스템 운용 설비들에 의해 제한되며, 일반적으로 제어는 상호간 현학적인 엔지니어링 기술이 수반된다. 많은 실제 응용에서 혁신적인 고급기술의 해들이 전력시스템 응답을 설정하는데는 적은 여유마진을 줄 수 있다. 운용 프로세스들에서는 전력품질을 증가시키기 위해 유효한 시스템 설비 스케줄을 조정함으로써 부차적인 선택이 가능할 수 있다(일간, 주간, 월간 단위).

계획 과정은 새로운 설비를 설치함으로써 시스템 용량을 증대시키지만, 일반적으로 계획에는 요구되는 결과를 얻기 위해서는 큰 자본과 장시간이 요구된다.

3. 결론

이 논문에서는 전력품질 엔지니어링의 인프라 구조를 확립하기 위한 논점을 제시하였다. 중심 개념은 전력회사의 총 비용(투자, 손실등)과 수용가가 부담하는 비용(예를 들면 제품의 손실)의 총합적으로 비용과 이득에 의해 구동되는 시스템이다. 전력 품질 엔지니어링 프로세스는 상호연관성을 갖는 동적 미커니즘(interactive-dynamic mechanism)으로 표현될 수 있다. 이 mechanism은 전력품질과 이득간을 평형시킬 수 있는 적절한 비용을 찾아내기 위한 엔지니어링 프로세스의 출발점이다. 그 인프라 구조를 어떻게 채용하는가하는 것과 어떻게 전력품질을 정량화하는가 하는 것은 앞으로의 해결해야할 숙제이다.

(참 고 문 헌)

[1] Electric Power Research Institute, "The Western states power crisis: imperatives and opportunities," EPRI white paper, June 25, 2001, Palo Alto, CA.
 [2] A. Robert, "Supply quality issues at the interface between power system and industrial consumers," Proceedings of the 8th conference on Harmonics and Quality of Power, October, 1998, Athens, Greece, pp. 182 - 189.
 [3] W. E. Brumsickle, R. S. Schneider, G. A. Luckjiff, D. M. Divan, M. F. McGranaghan, "Dynamic sag correctors: cost-effective industrial power line conditioning," IEEE Transactions on Industry Applications, v. 37, No. 1, January -

February 2001, pp. 212 -217.
 [4] E. W. Gunther, H. Metha, "A survey of distribution system power quality preliminary results," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 10, no. 1, January 1995.
 [5] G. T. Heydt, Electric Power Quality, second Edition, Stars in a Circle Publications, Scottsdale(AZ), USA, 1994.
 [6] M. Muhlwitz, J. Meyer, G. Winkler, "Advanced power quality rating under the conditions of deregulated markets," 16th International Conference and Exhibition (IEE conference publication No. 482) v. 2, 2001, p. 5.
 [7] R. Lamedica, G. Esposito, E. Tironi, D. Zaninelli, A. Prudenzi, "A survey on power quality cost in industrial customers," Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Winter Meeting 2001, v. 2, pp. 938 - 943.
 [8] M. Sullivan, M. Sheehan, "Observed changes in residential and commercial customer interruption costs in the Pacific Northwest between 1989 and 1999," Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2000, v. 4, pp. 2290 -2293.
 [9] W. Golomski, "Reliability and social policy," IEEE Transactions on Reliability, v. 50, No. 2, June 2001, pp. 131-34.
 [10] G. Heydt, "The costs of impaired electric power quality," 1996 IEEE Transmission and Distribution Meeting, September 1996, Los Angeles, CA.
 [11] R. Brown, M. Marshall, "The cost of reliability," Transmission and Distribution, December 2001, pp. 13 - 20.
 [12] SRI Consulting, "Appropriate level of loss of load probability for Korea," Technical Project 1116, June, 1999, Seoul, Korea.
 [13] G. T. Heydt, W. T. Jewell, "Pitfalls of electric power quality indices," IEEE Transactions on Power Delivery, v. 13, No. 2, April 1998, pp. 570 578.
 [14] A. Chowdhury, D. Koval, "Development of transmission system reliability performance benchmarks," IEEE Transactions on Industry Applications, v. 36, No. 3, May-June 2000, pp. 899 -903.
 [15] M. Ryan, M. Osborne, "Power quality: a perspective of system problems and solution considerations," IEE Colloquium 28 on Issues in Power Quality, Warwick, UK, pp. 1/1-1/9, November 1995.
 [16] N. C. Koskolos, S. M. Megalocónomos, E. N. Dialynas, "Assessment of power interruption costs for the industrial customers in Greece," Proceedings of the 8th Conference on Harmonics and Quality of Power October, 1998, Athens, Greece, v. 2, pp. 761 - 766.

이 연구는 산업자원부 및 기초전력공학공동연구소 프로그램으로 지원된 것이며 이에 감사드립니다.