

에너지 안전 기술의 현황 및 개발 전략

최정우 · 윤기봉[†]

충양대학교 차세대에너지안전연구단, [†]충양대학교 기계공학부
(2008년 12월 15일 접수, 2008년 12월 9일 수정, 2008년 12월 26일 채택)

Current Status and Development Strategy for Energy Safety Technology

Jeong Woo Choi, Kee Bong Yoon[†]

Energy Safety Research Institute for Next Generation, ChungAng University

[†]Department of Mechanical Engineering, ChungAng University

(Received 15 December 2008, Revised 9 December 2008, Accepted 26 December 2008)

요 약

지난 10여년간 한국 사회는 기술적, 경제적, 정치적으로 많은 성장과 변화, 그리고 발전을 거듭하여 세계 13의 경쟁력을 자랑하고 있다. 하지만, 우리나라의 사회적 성장 수준은 세계 30위에 그치고 있어 노령화 정책, 환경 문제, 양극화문제, 균형 발전 등의 사회적 성장과 삶의 질 향상을 위한 노력이 필요한 상황이다. 지속가능한 안전한 삶에 대한 국민적 관심과 요구가 높아지고 있음에도 불구하고 우리 사회는 일상생활과 밀접한 전기 화재 및 가스 사고에서부터 국가 산업 경쟁력 및 심각한 환경문제까지 야기할 수 있는 발전소 혹은 대형 플랜트 사고에 이르기까지 위험 요소를 안고 있다. 이에 본 연구는 이러한 에너지 관련 시설 및 활동으로부터 발생할 수 있는 사고를 예방하고 조치할 수 있는 안전 기술 개발 현황에 대하여 조사하고 이를 바탕으로 향후 국내 에너지 안전 기술의 개발 방향에 대한 의견을 제안하였다. 또한, 국내 가스 및 설비 안전 기술의 현황을 파악하고 이를 토대로 안전 기술의 유형을 분류하여 향후 관련 기술의 방향성 제시를 위해 중장기 TRM (technical road map)을 제시하여 에너지 안전 기술의 경쟁력 확보를 위한 토대를 마련하였다.

주요어 : 에너지안전, 가스안전, 전기안전, 설비안전, 안전 정책, 삶의 질, 융복합기술

1. 서 론

우리나라는 현재 세계 13위의 경제력에 비해 국민의 삶의 질과 관련된 부문의 사회적 성장도는 낮다. 영국 이코노미스트지의 2005년 통계에 의하면 세계 111개국 중 우리나라의 사회적 성장 수준은 30위에 그치고 있다. 삶의 질 향상을 위해 추진하고 있는 노령화 대비 정책, 환경문제 해소를 위한 에코테크노 기술도입, 양극화 해소 정책, 균형발전 정책 등은 사회적 성장 및 삶의 질 개선에 일조하였으며, 현 정부에서 적극 추진하고 있는 녹색성장 정책은 경제력 향상과 사회적 향상을 동시에 추구

하고 있다. 하지만 위험사회에서 안전사회로 가기위한 관심 및 정책추진은 아직도 미약하다^{1,3)}.

3S (Sustainable Safe Society)의 필요성을 주장한 문헌에 따르면 우리나라는 사회의 안전을 위협하는 주요 요소가 후진국형인 국가안보 위협, 정치적 억압 위협, 경제적 생계위험 등에서 선진국형 요소인 자연재난 위협, 생태 위협, 사회적 해체 위협, 기술적 재난위험으로 바뀌고 있다^{4,5)}(Fig. 1). 이 네 종류의 위험 중 기술적 재난위험만이 우리가 적절한 안전관리 시스템 또는 안전망을 구축함으로써 효율적으로 저감시킬 수 있다. 우리 사회의 기술 의존도가 더욱 커지면서 기술적 재난 위험도가 증대되고 있지만, 이에 대한 대비는 부족한 실정이다. 이는 기술 발전 속도가 빠르고 기술이 복잡화 되고 있기 때문이기도 하지만 한편으로는 안전망 구축 기술이 공공재의 성격을 갖고 있기 때문에 국가가 주도하여 투자하고 추진해야 하는 기술이기 때문이기도 하다.

[†]To whom correspondence should be addressed
Energy Safety Research Institute for Next Generation,
ChungAng University
E-mail : kbyoon@cau.ac.kr

	1950년대	1960년대	1970년대	1980년대	1990년대	2000년대
기술적 재난 위험						
지구적 생태 위험						
자연 재해 위험						
사회적 액체 위험						
국가 안보 위험						
정치적 억압 위험						
경제적 생계 위험						

Fig. 1. 한국사회의 위험 추이⁵⁾

기술적 재난 중에 위험성이 크면서도 실생활과 매우 가까이 존재하는 것이 에너지의 사용과 관련된 “에너지 안전기술”이다. 일상생활에서 가장 가까이 가장 오랜 시간 혜택을 받는 것이 전기와 가스 등의 에너지이므로, 이들과 관련된 위험을 최소화 또는 제거하기 위한 안전망 구축은 사고 예방에 따른 삶의 질 향상에 매우 중요하다. 이에 본 글에서는 삶의 질 향상에 필요한 에너지 안전 기술에 대한 투자와 관심의 필요성을 관련 전문가 뿐 만 아니라 일반인과 정부 모두가 공감대를 가지고 인식할 수 있도록 현재 기술 현황과 개선점을 분석하고 앞으로 나아가야 할 기술개발 방향을 제시하고자 한다.

2. 에너지 안전 기술 현황

2-1. 에너지 안전 기술 수요 증가의 사회적 배경

앞서 언급한 바와 같이 국민들의 생활수준과 교육수준의 향상으로 건강한 삶, 안전한 사회, 안락한 주거환경 등과 같은 삶의 질에 대한 관심이 날로 증가하고 있다⁴⁾. 더욱이 2000년 이후 나타난 웰빙 신드롬으로 인해 건강하고 안전한 생활에 요구는 크게 증가하고 있다. 또한, 기존의 제조 기반의 에너지 산업을 지식 기반의 산업으로 전환하려는 정책이 추진되고 있다. 지식기반 산업의 부가가치 비중은 지속적으로 증대되어, 1980년대 20~30% 수준이었던 지식기반산업의 부가가치 비중이 선진국 경우 40%에 이르고, 우리나라도 약 34%에 이르고 있다(Fig. 2)⁶⁾. 이는 기술·지식자산을 근간으로 산업구조가 개편되고 있음을 보여주는 것으로 에너지 산업 역시 에너지 산업 전반의 기술을 총 집약할 수 있는 안전 기술에 대한 수요가 증가할 것임 알 수 있다.

국제환경의 변화를 봐도 에너지 안전 기술의 수요가 증가하고 있다. WTO 뉴라운드(도하개발아젠다)는 농업, 공산품 관세인하, 서비스 등 경제 전반의 모든 영역에 걸쳐 자유화 및 개방화 촉진하였고, FTA(free trading

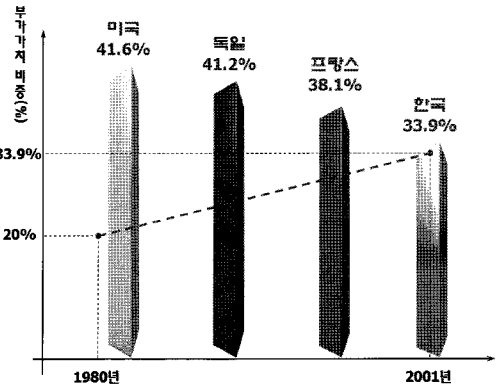


Fig. 2. 주요 국가 및 한국의 기술 및 지식기반 산업의 부가가치 비중⁶⁾

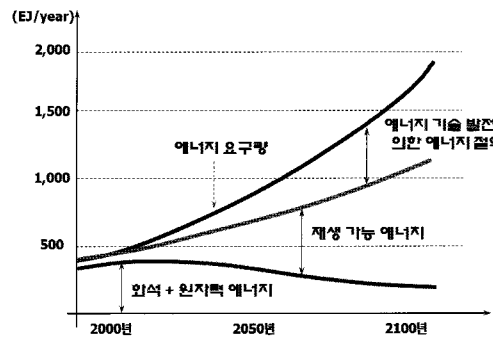


Fig. 3. 주요 에너지원의 전망⁷⁾

agreement)가 도입된다면 국내 에너지 산업이 시장경쟁 체제로 변환할 것으로 예상된다. 마지막으로 에너지 시장의 급격한 변화(Fig. 3)와 선진국의 기술보호주의 강화 등으로 인해 국가 에너지 안보 및 산업 경쟁력 확보의 중요성이 커지고 있다.

2-2. 에너지 안전 기술 분류

에너지 안전 기술 종류에 대한 보다 체계적인 접근을 위해 합리적인 기술 분류가 필요하다. 우선 에너지 안전 사고를 분류하고 사고 유형에 따라 안전기술을 분류하였다. 에너지 안전기술과 관련된 사고는 발생 소요 시간이 짧은 경우와 사고 발생까지 긴 시간이 요구되는 경우로 나누었으며, 사고 성격이 단순한 경우인지 복잡한 경우인지 성격상으로 분류⁵⁾가 가능하다. 이를 그림으로(Fig. 4) 표시하였으며 아래와 같이 4유형으로 나눌 수 있다.

- a. 유형 1 : 단순-돌발형
- b. 유형 2 : 복잡-돌발형
- c. 유형 3 : 복잡-진행/중복형

d. 유형 4 : 단순-진행/증폭형

유형 1(단순-돌발형)은 단위 요소기술로서 가스안전 및 전기안전 기술의 단위기술이 포함되며 안전사고가 인적요류 등의 간단한 이유로 돌발적으로 발생하는 안전사고와 관련된 기술이다. 유형 2(복잡-돌발형)는 돌발적으로 발생하는 안전사고와 관련한 기술이지만, 우리가 그 기술 내용을 아직 잘 모르는 경우에 해당한다. 수소, 신에너지, 재생에너지 등의 미래 에너지와 관련된 단순 사고와 관련된 안전 기술이 여기에 포함될 수 있다. 유형4(단순-진행형)는 사고가 시설 또는 관련 기기의 노후화와 관련되어 시간이 지나서 발생하는 사고 유형을 말한다. 따라서 이러한 사고 방지를 위해서는 설비의 안전 운영 기술 등이 필요하다. 유형 3(복잡-진행형)은 진행형 안전 사고 관련 기술이기는 하지만 복잡적이거나 전체 시스템과 관련된 기술로서 매우 복잡한 경우가 포함된다. 이를 방지하기 위해서는 안전망 등의 관리 시스템이 필요하다. 전기 및 가스 안전시스템 및 안전망 구축 기술이 여기에 포함된다. 이상의 에너지 안전사고 분류를 기준으로 안전 기술을 가스안전, 전기안전, 설비안전 세분야로 분류하여 예시하면 다음과 같다.

- a. 가스안전기술 (유형1+유형3)
 - : 가스안전 관련 요소기술, 가스안전 안전망기술, 안전 진단기술
- b. 설비안전기술(유형4)
 - : RBM(위험도기반관리) 시스템의 구축 및 실용화 기술

: CMMS(설비관리시스템) 시스템 개발, 실용화 기술

: 코드 및 기준 제정에 필요한 기준 연구

c. 전기안전기술(유형1+유형3)

: “U-city 전기안전 안전망” 구축 관련 요소기술, 시스템기술, 실증화

2-3. 기술 개발 동향 및 수준

지금까지 국내에서 에너지 안전기술에 대한 다양한 연구가 이루어져 왔지만, 많은 경우 시설별, 회사별로 단위 기술 개발이 진행되었다. 결과적으로 에너지안전 기반 기술에 대한 성과는 많으나 이를 융복합화하여 현장에 활용할 수 있는 응용기술 개발이 부족하여 보이므로 이에 대해 분석하여 본다.

2-3-1. 특허 동향

출원일 기준으로 지난 5개년도 1996~2000년 대비 최근 5개년도 2001~2005년 특허 출원 성장률(%)은 119%를 나타내어 최근 5개년도간 출원이 크게 증가한 것으로 나타나고 있다. 한국국적 출원인 특허 중 해외의 진출도가 전체특허 평균에 비해 33% 수준으로 관련 기술 분야의 해외 경쟁력을 보여주고 있다. 에너지 안전기술 분야의 특허 잔존기간이 10년 이상인 특허가 63.2%, 만료된 특허가 11.7%, 8~9년, 6~7년, 4~5년의 잔존수명을 보유한 특허가 각각 8.3%, 5.7%, 4.7%를 차지하고 있다(Fig. 5).

세부적으로 살펴보면, 출원일 기준으로 과거 5개년도 대비 최근 5개년도 특허 출원 성장률(%)은 전기안전기술 분야가 158%로서 가장 큰 성장률을 나타냈으며, 그 뒤를 이어 가스안전기술 분야가 119%, 설비안전기술 분야의 출원성장률은 100%로 나타나, 전기안전기술의 기술 성장력을 보이고 있다. 또한, 전기안전 기술은 기술자립도⁸⁾(내국인 특허 출원수/외국인 특허 출원수), 시장 독과점 현황 및 경쟁강도를 보이는 허핀달지수⁸⁾가 가장 높은 것으로 나타나 기술의 잠재 성장률과 수준 및 독점성이 가장 높았다.

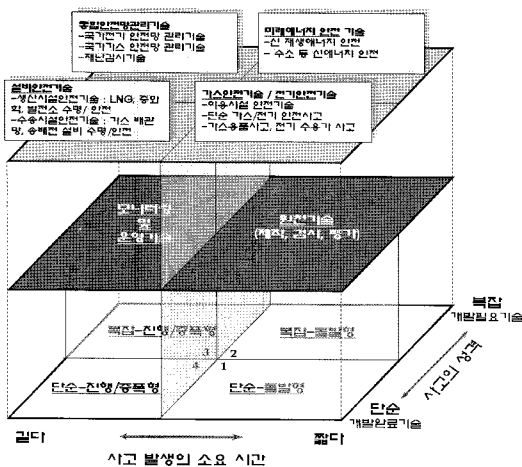


Fig. 4. 안전 관련 사고 특성에 따른 에너지 안전 기술 유형 분류

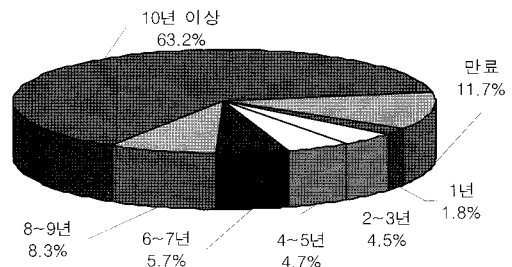


Fig. 5. 에너지 안전기술의 특허 잔존수명 현황

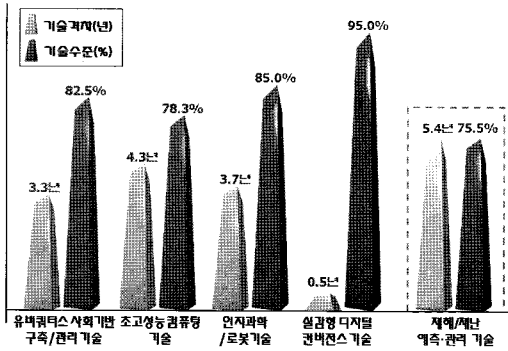


Fig. 6. 에너지 안전기술과 타기술간의 기술격차

가스안전기술 분야는 특히 등록비율이 가장 높아 이후 연구개발 시에 기술개발의 중복성에 유의해야 하며, 설비안전기술은 미국특허에서 국내특허가 인용되고 있는 정도를 나타내는 평균 CPP⁸⁾가 가장 높아 기술영향력과 파급도가 가장 높았다.

2-3-2. 에너지 안전기술의 수준

에너지 안전 기술은 융복합이 가능한 IT 및 로봇기술과의 기술격차가 심한 것으로 조사되고 있다²⁾. 이는 기초·기반 기술은 마련되어 있으나 이를 적용할 수 있는 응용 및 기술간 융·복합 기술이 부족하기 때문이다. 국내 에너지 산업, 산업생산, 건설 및 IT 분야 전문가 400여명을 대상으로 설문조사 실시한 결과 에너지 안전 기술에 대하여 선진국 대비 기술 수준을 40~70% 수준이라고 응답하였으며, 중요성은 100점 만점에 40~65점 수준이라고 응답하였다²⁾. 이 결과를 미루어 볼 때 기술 개발에 대한 투자와 함께 해당 기술의 중요성에 대한 사회적 공감대를 형성해야 할 것으로 보인다.

3. 에너지 안전 분야의 기술적 성장을 위한 개발 방향

에너지 시장 및 에너지 안전 기술의 지속적인 성장과 경쟁력 강화를 위해서는 기술진보가 필수적이며 그 중 첨단안전기술의 확보는 필연적이다. Solow 등의 시장 성장 모델⁹⁾(Fig. 7)에 의하면 현재 국내 에너지 시장의 수준 및 위치에서 지속적인 기술개발 투자가 없다면 에너지 안전관련 기술 시장은 물론 에너지 시장 전체의 정체를 야기할 수 있으며, 이는 국민 및 국가 안전에 큰 영향을 미칠 수 있다고 분석되고 있다. 즉, 장기계획에 의한 지속적인 지원, 정책의 일관성, 전담연구구체 확립 등과 같은 정부의 역할 비중이 증대하고 있으며, 기술적 성장을 위해서는 Romer의 지식기반 성장 모델(내생적 성장 모델)¹⁰⁾에 따라 인적자원과 실험실에서 발생하는 원천기

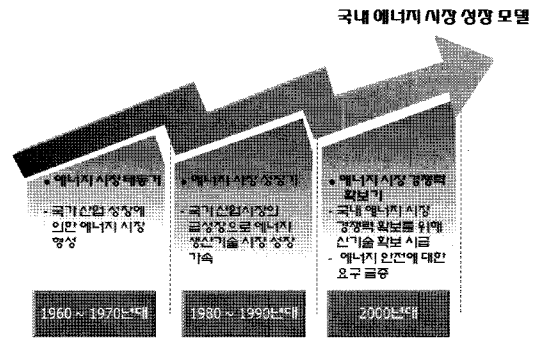


Fig. 7. 솔로우 이론에 의한 에너지 시장 성장 모델

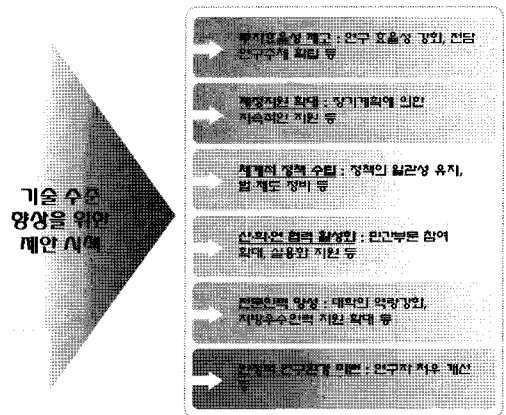


Fig. 8. 기술수준 향상을 위한 정책 및 제도 개선안

술에 더하여 기술적 우위를 보이고 있는 IT 등의 신기술 융합이 필수적인 것으로 나타났다.

이에 따라 가스, 전기, 설비 각 분야의 에너지 안전 기술 방향을 전망하면, 가스안전기술은 유형 1, 3의 요소 기술 및 이를 융·복합한 안전망 관련 기술개발이 필요하며, 전기안전 기술은 요소기술의 개발은 지양하고 통합적인 전기 안전망 기술이 필요하다. 설비안전기술의 경우는 설비의 건전성을 평가하는 시스템에 디지털 자가진단, 모델링, 분석, 평가 결정 등 자체 대응이 가능한 지능형 통합 관리 시스템 분야에 대한 기술 개발이 필요하다. 이러한 기술 개발 위해서는 Fig. 8과 같은 정책 및 제도적 지원이 요구되고 있다. 이러한 제도적 지원 하에서 각 기술 개발 주체가 목적 지향적 성과중심의 다 학제적 재해기술 개발전략을 수립하고 효율적인 R&D 투자를 한다면 에너지 안전 기술 분야의 국제 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

3-1. 에너지 안전 기술 TRM

지식경제부 산하의 에너지·자원 R&D기획단에서 2006

년 관련 기술에 대한 108개 기술 TRM(Fig. 9)을 제시하였다.

본 연구에서는 에너지 안전 기술 유형과 기술 분류 체계도를 기반으로 총 세 단계로 구성되는 중장기 TRM(Fig. 10)을 제시하였다. 에너지 안전기술의 중장기 TRM은 원천기술 개발, 융·복합 기술 기반 안전 관리 기술 개발, 안전관리 시스템 및 운영 기술 개발의 세 단계로 구성되며, 각 단계 별로는 미래 성장 동력 창출, 혁신 기술 선진화 및 통합화, 국가 경쟁력 확보 및 국민 안전 증진

의 목표를 가진다. 또한, 기술은 앞에서 정의한 에너지 안전 기술의 유형에 따라 아래와 같이 기술을 그룹화 하였다.

- a. [가스안전] U-Safety기반 가스안전망 통합 시스템 개발 및 실증(유형3+유형1)
- b. [전기안전] U-City환경에 적합한 전기 안전관리 통합 시스템 개발 및 실증(유형3+유형1)
- c. [설비안전] 설비 안전을 위한 CMMS 개발 및 실증(유형4)
- d. [기반기술] 에너지 안전 기반 기술 개발(유형1)

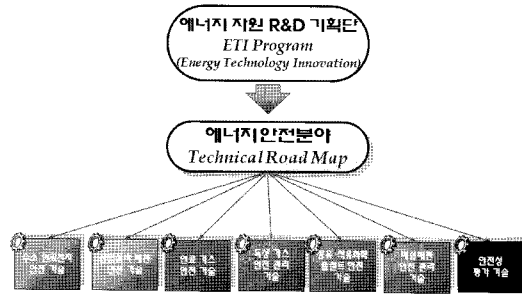


Fig. 9. 에너지 지원 R&D 기획단의 에너지 안전 기술 분류 체계도

각 기술 그룹은 중단위 기술과 세부 개발 기술로 구분되며, 1단계 원천 기술 개발 단계를 통해 개발된 세부 기술은 2단계 융·복합 단계를 통해 응용 기술 및 시스템으로 개발 및 실증을 거치게 된다. 마지막으로 3단계를 통해 각 세부 기술, 융·복합 응용기술 및 시스템, 그리고 이에 대한 운용기술은 비즈니스 모델이 되어 국민의 안전 증진은 물론 국가 성장동력으로 경쟁력 강화에 큰 역할을 하게 될 것이다.



Fig. 10. 에너지 안전 기술의 중장기 TRM

3-2. 가스 안전 기술 개발 방향

가스 분야는 저장, 운송, 이용에 관련된 시설물의 안전 기술과 이를 통합한 안전 네트워크 기술 개발이 필요하다. 특히, 가스 산업시설과 같은 이용 시설은 고온이나 고압의 가혹한 환경에서 장시간 운전되고, 30년 이상 된 노후시설이 전체 시설의 20%이상을 차지하고 있어 사고의 위험이 매우 높아 이로 인한 대형 참사를 예방하기 위해서는 도심 에너지 수송망의 안전성에 대한 안전시스템 연구와 더불어 규제 및 제도 개선을 연구의 병행이 반드시 필요하다. 기술적으로 많은 발전을 이룬 LPG 용기, LNG 저장시설 및 가스 배관 등 소용량 및 대용량 설비의 안전성 평가 및 수명을 연장하는 기술을 기반으로 중요부위별 위험성 평가 및 잔여수명 예측을 위한 연구 투자 활성화가 필요하다. 이를 위한 세부 기술에는 다음의 기술들이 포함될 필요성이 있다.

- 탱크로리 통합 안전 관리 시스템
- 유비쿼터스/홈네트워크 연동 다기능 가스안전 계량 기술
- 가스 누출 원격 검침 기술
- 도시가스 시설 통합 안전 시스템
- 가스 충전소 및 수송 배관 안전 기술

3-3. 설비 안전 기술 개발 방향

설비안전기술은 에너지 관련 설비의 단순 관리 업무에서 벗어나 설비전체의 신뢰도와 안전성 확보를 위한 토대로서 설비 감시 장치 등과 연계하여 설비의 수명기간 동안 최적의 전주기비용(Life Cycle Cost)을 관리하도록 개발한다. 이를 위해서는 기 개발된 기반 기술을 통합한 최적의 솔루션이 개발, 보급되어야 한다.

3-3-1. 통합 설비관리 시스템

최근 안전하면서도 효율적인 설비 관리 기법으로 인정받고 있는 RBI (risk based inspection), RCM (reliability centered maintenance) 기법을 최신 IT기술 및 관리 시스템인 ERP (Enterpriser Resource Planning), CMMS (Computerized Maintenance Management System)와 융복합화 연구가 필요하다. 여기에 재료 및 파괴거동, 열유체 해석, 전산역학, 비파괴 결함탐지 및 열화진단 기술 등 설비 진단 분야의 핵심요소기술을 통합, 응용하여 설비의 수명연장, 폐지, 교체 등을 결정하는 종합 엔지니어링 기술로 발전되어야 한다.

3-3-2. 실시간 성능감시 기술

기존의 설비 안전 및 성능예측 기술과 실시간 모니터링 기술을 통합한 실시간 안전 및 성능감시 기술이 필요

하다. 원격 데이터 특성과 중대 설비 시설에서 발생된 데이터 특성을 고려한 전문화된 정보 모형화 구축 설계 기법이 요구되며, 이를 기반으로 시스템의 안전성, 실시간성, 효율성이 증대되어 시스템 필요성이 증가될 것 보인다. 해당 기술은 앞으로 효율 추세분석, 발전원가 절감 분야에서 많은 수요가 발생할 것이며, 설비 관리 시스템과의 통합이 필요하다.

3-3-3. 나노역학 기반 기술 개발

설비가 대형/복합화 됨에 따라 매크로 스케일 결함에 의한 설비의 안전성 평가 기술은 이미 성숙기에 접어들었다. 하지만, 매크로 스케일의 결함의 원인이 되는 요인에 대한 평가기술의 부재로 설비 수명 등의 평가 시 불확실 요인으로 작용하고 있다. 향후 안정화된 매크로 스케일 결함 평가 기술을 기반으로 설비 취약부에 존재하여 손상유기 신상(damage-induced new phase)의 발생과 서브 마이크로 크기의 결함들을 나노 역학을 통해 정량화하는 기술이 필요하다.

4. 결 론

태동기와 성장기를 거쳐 경쟁력 확보기를 접어들고 있는 국내 에너지 시장의 상황과 국민의 삶의 질에 대한 요구 증대 등을 감안 할 때 에너지 안전 기술은 국내의 수요와 중요성이 증대되고 있다. 본 연구는 이러한 에너지 안전 기술의 발전을 위해 필요성에 대한 사회적 공감대 형성은 물론이며, 발전을 위한 방안과 방향을 제시하였다. 본 연구에서 보여준 에너지 안전 기술의 유형 분류와 중장기 TRM은 효율적이고 체계적인 기술개발의 방향을 제시하여 향후 해당 분야의 경쟁력 확보에 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부에너지기술혁신 프로그램의 일환으로 수행되었습니다. (“차세대 에너지안전 첨단관리 시스템 구축” 연구단, 세부과제번호 : 2007-M-CC23-P-11-1-000). 또한 이 연구의 일부는 2008년도 중앙대학교 우수연구자 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 주요사회적 위험에 대한 기술혁신 차원의 대응방안, 이공래 외, 과학기술정책연구원, 정책연구보고서 2003-05, 2003.
2. 2005년도 기술수준평가 보고서, 한국과학기술기획평가원, 2005.

3. “2006 WEF 국가경쟁력평가 중 과학기술관련 부문 평가 결과”자료, 과학기술부, 2006.
4. 「국가에너지·자원기술개발기본계획」, 산업자원부, 2006.
5. 임현진, 이재열 “한국사회의 역동적 전환: 위험사회에서 안전사회로” 삶의질과 지속가능한 발전, 나남출판, pp.11- 48, 2006.
6. OECD, Main Science and Technology Indicators, 2001.
7. 독일, International Renewables 2004, 2004.
8. 기술로드맵 작성을 위한 특허 분석 방법론, 한국특허정보원, 2005.
9. Robert M. Solow, “A Contribution to the Theory of Economic Growth,” Quarterly Journal of Economics, 70, 1(February) 1956, 65-94.
10. Paul M. Romer, “Increasing Returns and Long-Run Growth,” Journal of Political Economy, October 1986, 94:5, 1002-37.
11. 기획보고서, “차세대 에너지안전 첨단관리 시스템 구축”, 에너지기술기획평가원, 2007.