실시간 모의를 통한 소동력로의 영향 분석

김철우, 윤동희, 장길수
고려대학교 전기공학과

Real-Time Simulation to Analyze the Electrical Influence of Small-Scale Reactor

Chulwoo Kim, Dong-Hee Yoon, Gilsoo Jang
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 최근에 와서 유가상승, 화석에너지의 고갈문제, 환경 문제로 인해 분산전원에 대한 관심이 높아지는 추세에 있다. 소형 원자력을 동력으로 하는 전력시스템은 열병합발전과 같이 전기와 열을 동시에 생산하며, 분산전원 및 도서지역의 지역 에너지시스템으로 적용 가능한 다목적 에너지시스템이다. 본 논문은 소동력로가 울릉도 계통에 미치는 영향을 모의하였고, 모의를 위해 PSS/E와 RTDS를 사용하였다. 또한 울릉도 내의 디젤발전기와 소동력로의 전기적 특성을 비교 검토하여, 지역 에너지시스템의 유용성을 확인하였다.

1. 서 론

일반적으로 전력계통은 대용량의 발전 설비를 통해 전기에너지를 공급받고 있다. 하지만, 천연 자원의 한계, 지구 온난화, 산성비와 같은 환경문제가 대두되고, 에너지 수요가 급증하면서 신뢰성 있고 효율적인 에너지 공급이 요구되고 있다. 소형 원자력을 동력으로 하는 전력시스템은 열병합발전과 같이 전기와 열을 동시에 공급하는 소규모 집단 에너지시스템으로 에너지의 효율적 생산과 신뢰성 있는 공급 때문에 각광받고 있다. 지역난방을 필요로 하는 동유럽권 국가들을 중심으로 이미 다수의 지역 난방로가 운전·개발중이며, 최근에는 일본, 미국 및 개발도상국에서도 다목적 소동력로 연구에 힘쓰고 있다. 도서, 산간지역과 대도시 밀집아파트단지가 많은 우리나라에서도 소동력 지역에너지로에 대한 연구가 필요하다. [1][2]

KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute)에서는 전기 및 해수 담수화를 목적으로 한 SMART 원자로를 개발하고 있으며, 본 논문에서 적용하고 있는 소동력로는 SMART 원자로를 바탕으로 한, 지역 및 구역 열병합 발전 특성을 가진 소형 원자력 에너지시스템이다. 우리나라는 많은 도서지역으로 이루어져 있다. 도서지역은 일반적으로 계통의 규모가 작고 다른 계통과 연계가 힘이 들며, 독립적으로 운영되어 오고 있어서, 전기 공급에만 전력을 기울여 왔다. 소동력로와 같이 전기와 열을 동시에 공급하는 다목적 에너지시스템은 도서지역의 안정적 전력 공급원이 될 수 있다. [3]

본 논문에서는 소동력로가 도서계통에 미치는 전기적 특성을 모의하였으며, 모의의 목적은 다음과 같다. 내륙 계통의 발전소 운용은 소량의 연료로 대량의 에너지를 공급할 수 있는 원자력 발전이 기저부하를 담당하고, 중간 부하 및 첨두부하를 디젤 발전이나 수력 발전 등이 담당을 하고 있다. 소동력로가 도서지역의 에너지시스템으로서, 내륙 계통과 유사하게 기저부하의 전력공급원으로 적용 가능한 지를 살펴보았다. 또한, 도서지역 내의 다른 발전설비와 전기적 특성을 비교했을 때, 지역 에너지시스템으로서의 유용성을 검토하였다.

소동력로를 구성하고 있는 내부의 소내부하 및 비상 전원용 디젤 발전기에 대한 사항은 고려하지 않았다. 적용한 도서지역은 단독계통으로는 제일 큰 울릉도 계통이며, 계통은 PSS/E를 통해 구성하였다. 구성된 울릉도 계통의 모델은 RTDS/RSCAD를 이용하여 모의를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 REX10 SYSTEM [1][2]

SMART(System integrated Modular Advance ReacTor) 원자로는 소형 일체형 원자로로서, 전기 및 해수 담수화용으로 KAERI(Korea Atomic Energy Research Institute)에서 개발하고 있다. SMART에 기초를 두고 있으며, 열병합 발전의 특성을 갖춘 소형 원자로를 REX10 이라고 한다. REX10의 특성은 다음과 같다.

첫째, 고도의 안전성을 확보하며, 원자력의 불안을 해소하기 위해서 지하 pool 격납용기 형태로 설계된다. 둘째, 방사성 폐기물을 극소화하고 핵 비확산을 보장하기 위해 핵연료 교체 없이 운전수명을 10년 이상으로 하고자 한다. 마지막으로 건설 및 운영단가를 타 에너지원과의 경쟁력을 갖도록 한다.

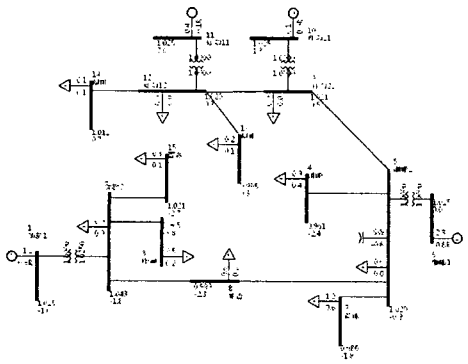
REX10은 전기와 열을 동시에 공급하는 열병합발전의 특성을 가지고 있기 때문에 분산전원으로 사용가능하며, 내륙으로부터 전력 송전이 어려운 도서지역의 안정적인 전력 공급원으로 사용될 수 있다.

2.1.1 REX10 SYSTEM 모델

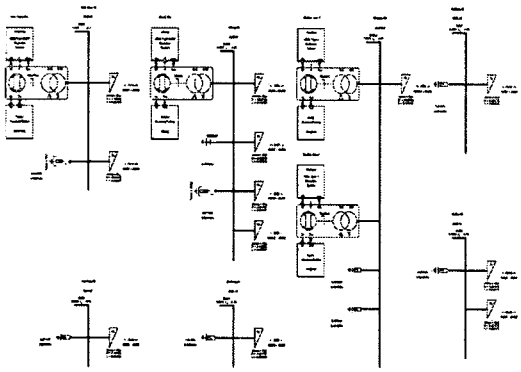
REX10 모델은 크게 3부분으로 구성되어 있다. 첫 번째로, REX10이 열과 전기를 생산하는 발전부분이다. 본 논문에서는 전기적 특성만을 고려하고 있으며, REX10의 기본용량은 10MVA, 2MWe 이다. 두 번째로는, REX10 system을 운전하는 데 필요한 소내부하이고, 마지막으로는 비상 전원용 디젤 발전기 부분이다. 본 모의를 수행함에 있어서는 소내부하 및 비상 전원용 디젤 발전기 부분은 고려하지 않았다. [2][4][5]

2.2 울릉도 계통

울릉도 계통은 디젤 발전 2기와 수력 발전 2기 그리고 15모선으로 구성되어 있다. PSS/E를 이용하여 울릉도 계통을 구성하였고, 계통 구성도는 <그림1>과 같다. PSS/E로 조류 계산을 확인한 후에, 그 결과를 이용하여 PSS/E raw file을 RSCAD file로 변환하였다. <그림2>는 RSCAD file로 구성된 울릉도 계통을 보여주고 있다. [6]



<그림 1> PSS/E로 구성한 울릉도 계통

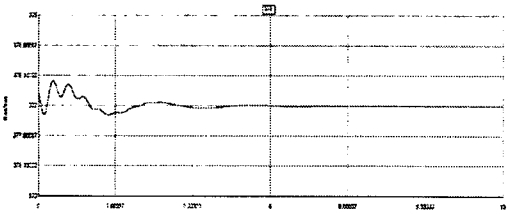


<그림 2> RSCAD로 구성한 울릉도 계통

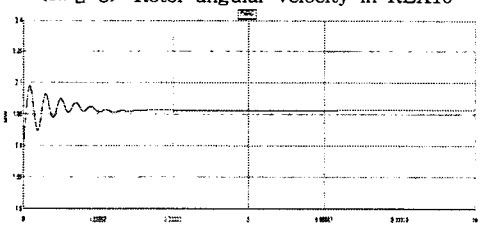
2.3 모의 시나리오

2.3.1 시나리오 1

정상 상태에서, 울릉도 계통내의 울릉 발전기는 약 2.3MW, 0.8MVar를 출력한다. 울릉 발전기와 출력이 비슷한 REX10을 이 발전기 위치에 대신 설치하여, REX10이 울릉도 계통에 설치되었을 때의 전기적 특성을 살펴본다. <그림3>은 초기 상태에서의 REX10 rotor angular velocity를, <그림4>는 유효전력을 보여주고 있다. 정상 상태에서 REX10의 출력은 약 1.98MW, 0.99MVar 이다.



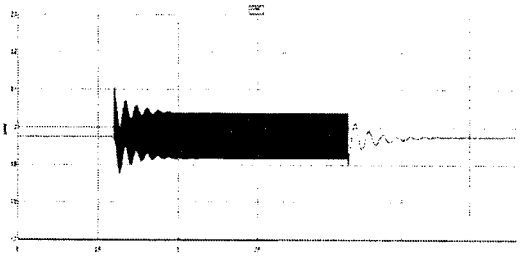
<그림 3> Rotor angular velocity in REX10



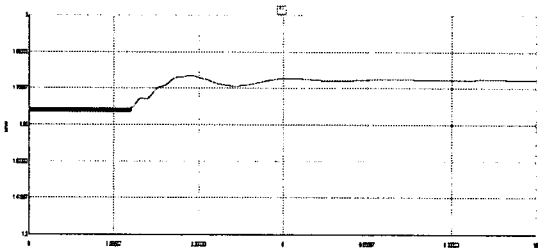
<그림 4> Active Power in REX10

2.3.2 시나리오 2

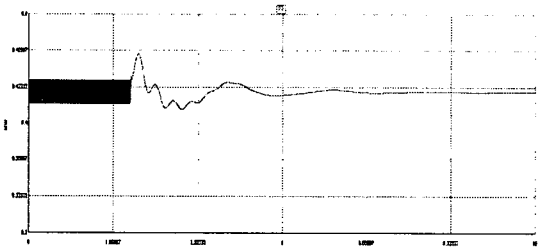
내륙계통의 발전소 운용은 원자력 발전이 기저부하를 담당하고, 중간 부하 및 첨두부하를 디젤 발전이나 수력발전 등이 담당을 하고 있다. 본 모의에서는 REX10이 울릉도 계통의 지역 에너지시스템으로서, 내륙 계통과 유사하게 기저부하의 공급원으로 적용 가능한 지를 모의하였다. 울릉도는 오징어 건조기인 9월에서 10월에 부하량이 증가한다. 냉동 공장이 밀집된 저동 지역의 부하량을 0.24MW, 0.06MVar 증가시켰을 경우, 부하추종을 통해 REX10이 기저부하 공급원으로 가능성이 있는 지를 검토하였다.



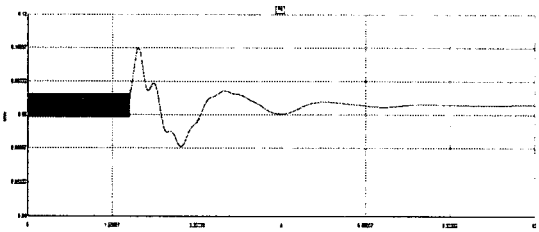
<그림 5> Active Power in REX10



<그림 6> Active Power in NamYang Generator



<그림 7> Active Power in ChuSan 1 Generator

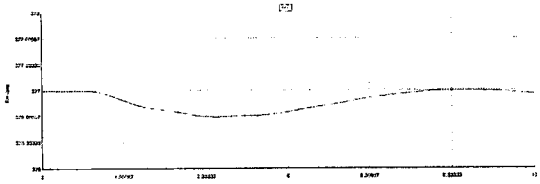


<그림 8> Active Power in ChuSan 2 Generator

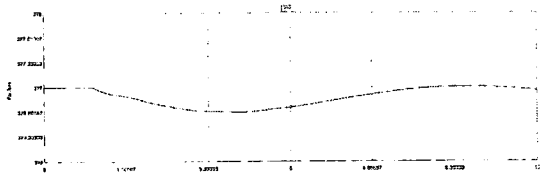
저동 지역의 부하량을 증가시키면, REX10의 유효전력량이 초기에는 약간의 변동이 있지만, 곧 정상상태 출력인 1.98MW로 다시 일정하게 유지됨을 <그림 5>를 통해 확인할 수 있다. 부하추종은 주로 남양 발전을 통해서 이루어지고, 추산 수력발전 1과 2에서도 유효전력량이 다소 증가하였다.

2.3.3 시나리오 3

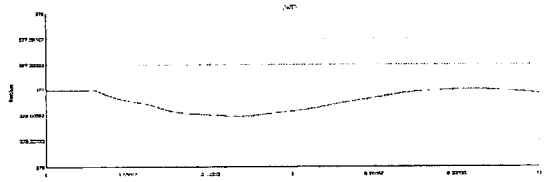
도서지역은 일반적으로 계통의 규모가 작고 다른 계통과 연계가 힘이 들며, 독립적으로 운영되어 오고 있어서, 전기 공급에만 전력을 기울여 왔다. 울릉도 계통내의 울릉 발전기 위치에 REX10이 대신 설치되었을 때, 기존 계통과 비교하여, 주파수 변화에 어떤 차이가 있는 지 비교 검토해 본다. 저동 지역의 부하량을 시나리오 2와 같이 증가시켰을 경우, 각 발전기의 주파수 변화를 비교한다.



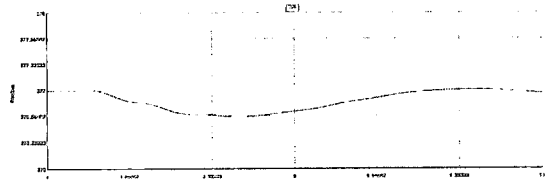
<그림 9> Rotor angular velocity in NamYang Gen.



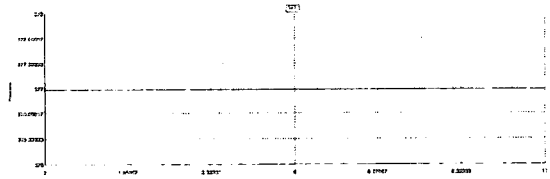
<그림 10> Rotor angular velocity in Ulleung Gen.



<그림 11> Rotor angular velocity in ChuSan 1 Gen.

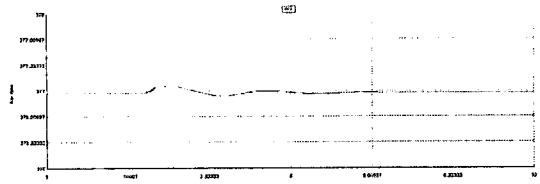


<그림 12> Rotor angular velocity in ChuSan 2 Gen.

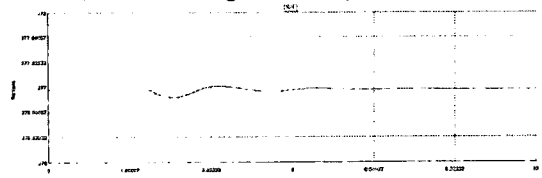


<그림 13>Rotor angular velocity in NamYang Gen.

<그림 14> Rotor angular velocity in REX10



<그림 15>Rotor angular velocity in ChuSan 1 Gen.



<그림 16>Rotor angular velocity in ChuSan 2 Gen.

<그림9>에서 <그림12>는 기존 울릉도 계통에서의 각 발전기 주파수 변화를 나타낸 것이고, <그림13>에서 <그림16>은 울릉 발전기 위치에 REX10이 대신 설치되었을 때의 각 발전기 주파수 변화를 나타낸 것이다. REX10이 대신 설치되었을 때, 주파수 변화가 적음을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 열병합발전과 같이 열과 전기를 동시에 생산하는 소형 일체형 원자로인 REX10에 대한 전기적 특성을 모의하였다. REX10이 기저부하의 전력공급원으로 적용가능한 지를 모의하였고, 울릉도 계통내의 울릉 발전기 위치에 REX10이 대신 설치되었을 때, 기존 계통과 비교하여, 각 발전기의 주파수 변화에 어떤 차이가 있는 지 살펴보았다.

This work has been supported by KESRI(R-2005-B-100), which is funded by MOCIE(Ministry of commerce, industry and energy)

[참 고 문 헌]

[1] "Study on small-scale reactor based multi-purpose regional energy system", KESRI, February 2006.
[2] Dong-Hee Yoon and Gilsoo Jang, "Influence of small-scale reactors on Ulleung-do power system", IWRE07, January 24-27, 2007, Seoul, Korea.
[3] "도서지역 발전소 적정운전방안 연구 ", 산업자원부, April 2004.
[4] Sang-Seung Lee, Jong-Keun Park, Seung-Il Moon, Yong-Tae Yoon, Jong-Won Kim, and Goon-Cherl Park, "Small Nuclear Power Generation Units, and Electric Power System Interconnection", Power Engineering Society General Meeting, 2006, IEEE
[5] Dong-Hee Yoon , Sea-Seung Oh, Seongil Hur and Gilsoo Jang, "Influence of small-scale reactors on power system dynamics", WMSCI2006 Conference proceeding, July 16-19, 2006, Orlando, Florida, U.S.A.
[6] PSS/E 30, On-line Documentation, Power Technologies, inc