

**수도권 중대형 CHP의 전력계통편익에 관한 연구**

박진우<sup>1</sup>, 문승일<sup>1</sup>, 원동준<sup>2</sup>, 트란트롱틴<sup>3</sup>, 최재석<sup>4</sup>, 오세민<sup>5</sup>, 함상훈<sup>6</sup>  
 서울대학교 전기컴퓨터공학부<sup>1</sup>, Univ. of Washington<sup>2</sup>, 경상대학교 전기공학과<sup>3</sup>, 한국지역난방공사<sup>4</sup>

**Beneficial Effects of Large CHP on Power System**

Jin-woo Park<sup>1</sup>, Seung-il Moon<sup>1</sup>, Dong-Jun Won<sup>2</sup>, TrungTinh Tran<sup>3</sup>, Jae-seok Choi<sup>4</sup>, Se-min Oh<sup>5</sup>, Sang-hoon Ham<sup>6</sup>  
 Seoul National Univ.<sup>1</sup>, Univ. of Washington<sup>2</sup>, Gyeongsang National Univ.<sup>3</sup>, Korea District Heating Corp.<sup>4</sup>

**Abstract** - 본 논문에서는 수도권에 밀집지역에 위치하는 중대형 열병합 발전소가 전력계통에 가져올 수 있는 전력계통 상의 편익을 율통전력, 전압안정도 그리고 신뢰도 측면에서 검토하도록 한다. 수도권에 신규 발전력은 계통의 율통전력을 증가시키고, 전압 프로파일을 개선하여 전압안정도를 향상시키며, 계통의 신뢰도 지수를 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 본 논문에서는 이러한 전력계통 측면에서의 편익을 계통 모의를 통해 검증하고 이러한 계통 편익들이 가지는 경제적 가치를 평가해 보도록 한다.

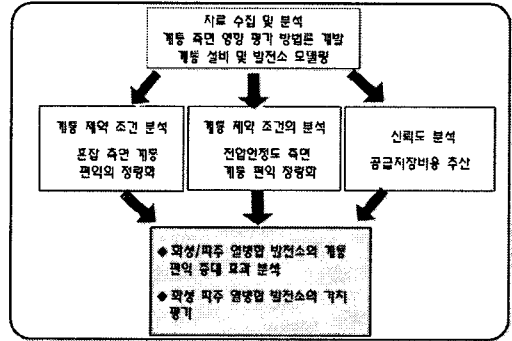


그림 1. 중대형 CHP의 계통편익 분석 연구방법

**1. 서 론**

우리나라 전력계통은 수도권에 약 42%의 부하가 밀집되어 있다. 이에 반해 전원설비는 원격지에 주로 편재하여 수도권의 전력수요의 약 38%를 북상선로를 통해 수도권으로 공급하고 있다.

대규모의 전력이 북상선로를 통해 수도권으로 공급되는 것은 상정 사고에 취약한 특징을 지니며, 또한 장거리 수송이 불가능한 무효전력의 특성상 수도권은 무효전력공급이 항상 부족한 상태에 있어 광범위한 저전압 현상이 발생하기도 한다.

따라서 수도권에 신규발전소를 건설하거나 순동무효전력 공급설비를 설치하는 등 전력계통을 안정화 할 수 있는 여러 방안의 마련이 필요한 실정이다. 하지만 신규발전소의 입지를 수도권 내에 마련하는 것은 많은 어려움이 예상되는데, 열과 전력을 수요지 인근에서 직접 공급하는 중대형 CHP(Combined Heat and Power)의 건설은 이러한 문제를 해결하는 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 생각된다.

2007년과 2008년에 화성과 파주지역에 각각 건설 예정인 CHP는 각각 525MW와 345MW 규모로 2008년 우리나라 총 발전량의 1.5% 정도를 담당하는 중대형 규모의 발전소이다. 지금까지 우리나라는 소규모 열병합 발전소를 주로 운영하는데 그쳐왔다. 동시에 대부분의 열병합 발전에 대한 연구들도 이에 초점을 맞춰서 진행된 바 있다. 하지만, 중대규모 열병합 발전의 경우, 전력계통에서 큰 비중을 차지함으로써 여러 가지 편익을 줄 수 있다고 판단된다. 따라서 본 논문에서는 율통전력의 증대효과, 전압 안정도 개선 및 신뢰도 지수의 개선효과 등 계통에 줄 수 있는 여러 편익을 실제로 모의해보고, 이것의 가치를 정확히 하는 연구를 수행하도록 한다.

**2. 본 론**

**2.1 율통전력 측면에서의 계통 편익**

**2.1.1 율통전력의 정의**

우리나라 계통은 주요 부하는 주로 대도시를 중심으로 집중되어 있으나 전원설비는 수요지와 동떨어진 원격지에 편재하여, 전력공급지와 수요지가 불일치하는 특징을 갖고 있다. 이러한 수요지와 공급지의 불일치로 인하여 대규모의 전력이 장거리 송전선로를 통하여 수요 집중지역으로 수송됨으로써 장거리 대전력 수송에 따른 문제점이 발생하게 된다. 장거리의 북상선로를 통한 송전은 상정 사고 시 계통 불안정을 유발할 수 있고, 장거리 송전에 따른 무효전력 소비를 동반함으로써 계통에 커다란 부담으로 작용할 수 있다. 따라서 장거리 대전력 송전으로 인한 계통 불안정을 막기 위해서 불가피하게 평상시 전력전송량을 제한하게 되며, 이를 계통의 율통전력으로 정의하고 있다.

**2.1.2 CHP의 율통전력 증대 효과 분석**

본 연구에서는 중대형 CHP의 계통 편익을 율통전력 측면에서 검토하도록 한다. 이를 위해 열병합 발전소가 설치되기 전과 후의 계통의 율통전력을 계통 모의를 통하여 산출하고, 이를 비교하였다. 율통전력 산출을 위해서는 우리나라의 6개 주요 북상선로를 대상으로 상정사고시 조류량을 계산하였다. 그림 2는 계통의 율통전력을 계산하기 위한 알고리즘을 보여준다.

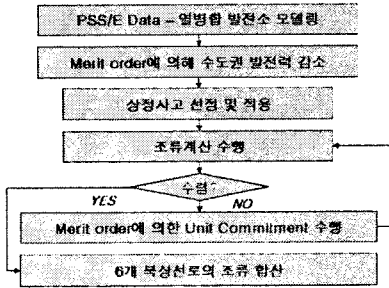


그림 2. 용통전력 계산 알고리즘

다음 그림 3은 각 년도별 PSS/E 계통데이터를 바탕으로 CHP가 계통에 들어옴으로써 얻어지는 용통전력의 증대효과를 살펴본 것이다.

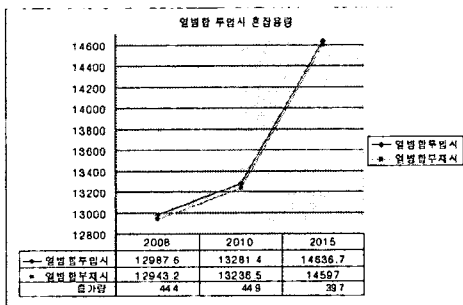


그림 3 열병합 발전소 운영시 용통전력 추이 비교

각 년도별로 열병합 발전소 운영시와 부제시를 비교하였을 때 대략 약 40MW 정도의 용통전력 개선 효과가 있음을 볼 수 있다. 이러한 용통전력의 증가요인은 열병합 발전소가 운영됨으로써 수도권에 타 발전기를 대체하게 되며, 이러한 발전기 대체가 전력계통에서의 안정도를 상승시켜 북상선로를 통한 송전용량을 증대시킨 것으로 해석할 수 있다. 화성 발전기는 경인지역 남부지역의 계통 안정화에 기여한 것으로 판단할 수 있으며, 345kV 북상선로 말단의 전압강하를 보상하는 효과가 있는 것으로 분석된다. 또한 파주 발전기는 경기도 북부지역에 대용량 발전기가 존재하지 않는 상황에서 유일한 대용량 발전기로서 계통 안정도에 긍정적인 효과를 미치고 있는 것으로 사료된다.

계통 측면에서 볼 때 수도권에 입지한 CHP는 직접 수요밀집지역에 유, 무효 전력을 공급함으로써 계통의 안정도를 향상시킬 수 있고 이것이 용통전력 증대 효과로 나타난다고 볼 수 있다.

용통전력이 증가했을 때 계통 측면에서의 편익은 발전 대체 효과로 인한 발전비용 절감 측면에서 그 가치를 정량화 할 수 있다. 비수도권의 저렴한 발전기들이 출력을 증가시키는 만큼 전체 발전비용이 줄어드는 효과를 가져온다. 우리나라 계통은 대부분의 시간동안 송전 제약 조건하에서 운전되므로 용통전력의 증가 효과는 작지 않다고 할 수 있다. 일례로 용통전력의 증가로 비수도권에 존재하는 복합화력 발전기가 추가로 운영되어 수도권의 발전기를 대체하였다면 그 발전비용의 차이만큼 발전비용 절감 효과가 발생한다. 이를 2008년에 적용하여 계산하여 보면 다음과 같이 추산할 수 있다.

$$\text{예) } 44.4\text{MW} \times 24 \times 365 \times \text{발전비용차이}(10\text{원/kWh}) = 40\text{억원}$$

이러한 방식으로 각 년도별 혼합용량 증가 효과를 발전비용 절감 측면에서 금액으로 환산해 보면 다음 표 1과 같다.

표 1 용통전력 증가와 전체 발전비용 절감 (단위: 천원)

	2008년	2010년	2015년
복합(CC) 발전시	3,889,440	3,933,240	3,477,720
화력(T/P) 발전시	15,557,760	15,732,960	13,910,880
원자력(N/P) 발전시	19,447,200	19,666,200	17,388,600

## 2.2 전압안정도 측면에서의 계통 편익

계통의 전압안정도란 어떠한 외란이나 부하의 증가가 있을 때 모든 모선의 전압이 허용할 수 있는 범위내의 값으로 유지될 수 있는 능력과 관련이 있다. 일반적으로 부하측에서 소비하는 전력이 증가하면 모선의 전압이 떨어지게 된다. 전압이 일정수준 이상으로 떨어지게 될 경우 전력(P)-전압(V)곡선에 따라 전체 전력시스템이 불안정한 영역에 놓이게 되며, 전압붕괴 현상까지도 이어질 수가 있다. 또한 무효전력의 공급이 부족할 시에도 광범위한 저전압현상이 발생하기도 한다.

수도권에 건설 예정인 CHP는 부하밀집지역에 입지하며 직접 유, 무효전력을 계통에 공급할 수 있기에 전압안정도를 향상시키는데 큰 도움을 줄 수 있다. 따라서 CHP가 전압안정도에 끼치는 영향을 분석하기 위해서 다음과 같은 알고리즘에 따라 연구를 수행하였다.

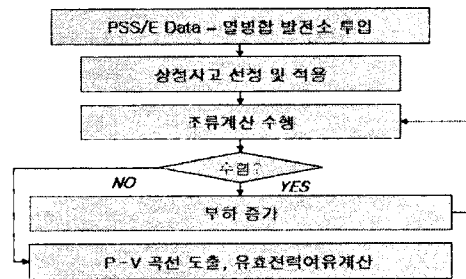


그림 4 전압안정도 판별 알고리즘

CHP의 투입 여부에 따라 부하를 점진적으로 증가시키며 따라 P-V 곡선을 그려보고 전압붕괴가 일어나는 시점까지의 유효전력의 여유량(부하 증가 시 붕괴 전까지 유효전력의 증가량)의 변화를 살펴보았다. 또한 저전압 현상이 발생하는 모선의 수를 비교하였으며 전체적으로 모선에서의 전압이 상승되는 정도를 비교해보았다.

전압안정도의 향상 효과를 살펴보기 위해 4가지의 시나리오를 선정하였다. (1) 2007년 화성 열병합 발전소의 투입 전후를 비교하여 전압안정도를 향상시키는 효과를 분석해 보았으며 (2) 2008년 화성과 파주의 열병합 발전을 모두 고려한 경우에 계통에 미치는 영향을 살펴보았다. (3) 파주 인근 지역에 계획되고 있는 대규모 부하량의 증가(개성공단의 건설과 파주 LCD공장의 준공) 상황에서, 수도권에 입지할 두 곳의 열병합 발전소의 지리적 조건을 고려한 영향을 살펴보았고 (4) 열병합 발전소를 무효전력 공급원으로 동작시켜 계통 안정화에 기여하는 정도를 평가해 보았다.

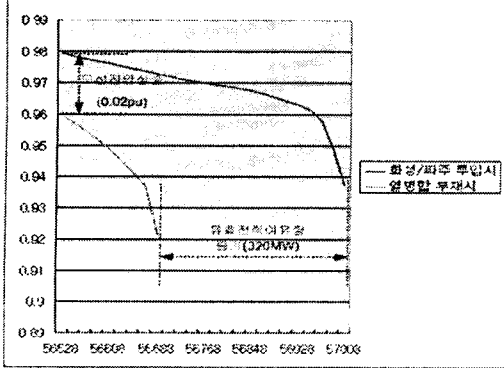


그림 5 예: 2008년 화성/파주 전압안정도 개선효과

표 2에서는 각 시나리오별로 전압안정도 모의를 수행한 결과가 나타나 있다. 화성과 파주의 열병합발전소가 계통에 들어옴에 따라 전체적으로 부하 증가 시 유효전력여유의 증가분이 수백 MW 정도 늘어남을 알 수 있었으며 각 모선에서의 전압도 0.02~0.03pu 만큼 상승하여 저전압모선이 상당개소 감소하였음을 알 수 있다. 특히 파주일대의 부하량 증가를 가정했을 때, 상정사고를 견디지 못하고 계통이 발산함을 보여주는데, 이는 CHP가 계통의 안정도에 크게 기여할 수 있음을 말해준다.

표 2 각 시나리오별 전압안정도

	유효전력여유 증가분	전압프로파일 향상	저전압모선 해소
화성(2007)	280MW	0.03pu	179->37
화성/파주(2008)	320MW	0.02pu	69->5
개성공단,LCD공장	(2007)480MW	0.03pu	179->30
	(2008) 계통 발산 -> CHP 투입 시 계통안정화		
무효전력 공급원 동작	1120MW	0.02pu	38->24

### 2.3 신뢰도 측면에서의 계통 편익

신뢰도는 “전력 사용자에게 만족할만한 품질의 전력을 연속적으로 공급할 수 있는 확률”과 같이 확률 개념으로 생각할 수 있다. 신뢰도의 확률적 평가에서는 신뢰도를 전력계통의 계층구조(hierarchical levels)에 따라 평가하고 있다. 발전계통(Hierarchical Level I ; HLI)은 오직 발전계통만을 고려한 경우이며 복합전력계통(Hierarchical Level II ; HLI2)은 발전계통 뿐만 아니라 송전계통까지 포함한 경우이다.

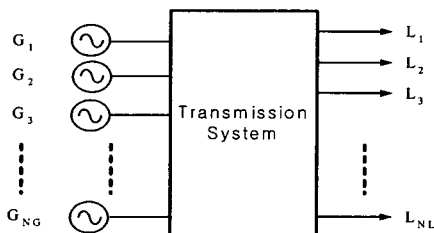


그림 6 계층 II (HL II)의 모델링

본 논문에서는 대규모 전력계통의 신뢰도를 계층 II

레벨에서 평가하고, 공급지장확률, 공급지장확률빈도(횟수/년), 공급지장지속시간(시간/년), 공급지장전력량(MWH/년), 공급지장전력(MW/년), 공급지장 사고건수 등을 산출하였다. 신뢰도 모의를 위한 상정사고는 발전기 1 depth, 송전선로 1 depth로 총 2 depth로 가정하였으며 신뢰도 평가를 수행한 결과는 다음과 같다.

표 3 신뢰도 지수 및 공급지장비용 (2007/ 2008년)

지수	단위	2007년	2007년 화성투입	2008년	2008년 화성/파주 투입
공급지장 확률		0.0235	0.0156	0.0096	0.0034
공급지장 확률빈도	(OCC/YEAR)	27.022	18.382	12.276	3.969
공급지장 지속시간	(HRS/YEAR)	207.403	137.659	84.625	30.229
공급지장 전력량	(MWH/YEAR)	17591.354	8360.601	10013.479	2303.738
공급지장 전력	(MW/YEAR)	3958.156	1800.915	2253.098	495.906
공급지장 사고건수		2424	1943	944	588
공급지장 비용	(천원)	54,797	26,043	31,192	6,865

2007년과 2008년 모두 수도권에 신규 발전력으로 증대형규모의 CHP가 들어온 다음 신뢰도 지수가 개선되는 것을 살펴볼 수 있다. 이렇게 계산된 신뢰도 지수를 활용하여 정전비용 즉, 공급지장비용을 산출하도록 한다. 공급지장비용은 그 추정한 기관에 따라 최소 수십 배에 달하는 차이를 보이고 있지만, 최근 연구결과에서는 전력생산단가의 50배 정도로 보는 것이 타당하다고 보고 있다. 표 3에서 살펴볼 수 있듯 CHP의 투입으로 인해 전력계통의 신뢰도 지수가 상승하여 정전비용도 큰 폭으로 감소하는 효과가 있음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 증대형 CHP의 계통 영향 평가를 수행하면서 열병합 발전소가 계통에 미치는 영향을 크게 세 가지 측면에서 분석하였다. 먼저 열병합 발전소의 운영이 계통의 용통전력에 미치는 영향을 분석하였고, 두 번째로는 전압 프로파일 개선과 전압안정도에 미치는 영향을 분석하였다. 마지막으로 열병합 발전소가 계통의 신뢰도 측면에서 신뢰도 지수를 개선하는 효과를 분석하고 이를 공급지장비용으로 환산하여 보았다.

화성과 파주의 증대형CHP는 전력 계통의 측면에서 상당한 편익을 제공하고 있음을 알 수 있었고, 이를 경제적 가치로 환산했을 때 상당한 이익을 가져올 수 있음을 알 수 있었다. 수요지 인근에 대규모의 발전소가 추가로 입지하기 힘들다는 점을 고려해 볼 때, 수요 인근에 설치되는 증대형 규모의 CHP는 전력계통의 안정화에 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] P.Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc
- [2] 산업자원부, "전력수급기본계획", 2002
- [3] Paul Kales, "Reliability for Technology, Engineering, and Management", Prentice Hall, 1998