

## 170kV GIS의 내부고장 ARC 상태 시험결과

전상동, 김도원, 이봉희  
KEPCO

### The verified results of arc phenomena when malfunctions occur inside 170kV GIS

Sang-Dong Jeon, Do-Won Kim, Bong-hee Lee  
Korea Electric Power Corporation

**Abstract** - 전력설비 증가와 더불어 GIS 사용이 확대되고 있는 상황에서 GIS 내부고장 발생시 복구 지연으로 인한 사례가 지속 발생하고 있다. 이를 예방하기 위해 170kV GIS 고장구간 판정시스템용 압력센서를 개발하고 검증을 위해 실사용 GIS 2대를 이용하여 내아크 시험을 수행한 결과이다. 시험을 통해 고장시 GIS 탱크 내부의 압력, 온도, 압력파를 측정하였고 SF6 Gas 배관과 연결된 현장조작함(LCP)내 가스주입구에 설치한 압력센서의 동작유무를 검증하였다. 시험결과 유동해석(CFD) 등 시뮬레이션 예측보다 압력 및 온도 상승이 높게 측정되었고 제품에 대한 신뢰성과 확대적용 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 1. 서 론

1959년에 최초의 실용적인 SF6 차단기가 출시된 이후 GIS는 나날이 그 기술이 발전되면서 점차 복합, 소형화, 친환경화 되는 개발단계를 거쳐가고 있다. GIS는 변전소 부지면적 축소 등 많은 장점을 지니고 있지만 탱크 내부를 육안으로 확인할 수 없는 단점 때문에 내부 절연과 고장시 위치판정에 많은 시간이 소요되고 휴면에러를 유발하고 있다. 2006년 서면변전소 고장을 계기로 많은 대책을 수립하였지만 2010년 동전주 변전소 고장 등 지속적으로 GIS 내부 고장이 발생하여 사회적으로 큰 민원이 발생하고 있는 실정이다. 이에 GIS 내부 고장시 신속한 복구를 위한 고장구간 판정시스템을 개발하게 되었으며 개발된 압력센서의 동작값 설정을 위해 유동해석 등 시뮬레이션 결과의 신뢰성 확보 차원에서 실 GIS를 이용한 내아크 시험을 수행하게 되었다.



〈그림 1〉 170kV GIS 고장구간 판정시스템

#### 2. 본 론

##### 2.1 내아크 시험규격

내부고장시 ARC상태 시험은 GIS의 모든 외함이 이상상태의 가스압력은 물론 단시간전류로 인한 내부 ARC에 의해 충분히 견딜 수 있는가를 확인하는 것이다. 하지만 본 시험이 파손시험인 관계로 확실한 안전장치가 없는 한 안전, 공해 등의 관점에서 시험의 실시를 보류하고 있는 편이다. 외국의 상황은 대부분 Type Test로서 실시하고 있지 않고 참고로 시험을 실시하는 경우는 있으며 가까운 일본의 경우 이에 대한 규정이 없기 때문에 Type Test를 실시하지 않고 성능확인은 수식에 의하여 계산된 결과를 적용하고 있다.[1]

##### 2.1.1 ES-5925-0001 교류차단기

한전표준규격에는 GIS 내압력 구조에 대해 사용상태에서 기름, 공기, 가스 등 압력이 가하여지는 부분은 최고사용압력의 1.5배의 수압에 10분간 견딜 수 있어야 하고 누설이 있어서는 안된다고 규정되어 있다. 단, 수압시험을 하기 곤란한 경우에는 기압시험으로 행하되 최고사용 압력의 1.25배의 기압에 10분간 견딜 수 있어야 하고 누설이 있어서는 안되며 또한 탱크 등에는 최고 허용압력 이하에서 작동하는 안전장치가 구비되어야 하고 최고

허용압력은 도면 승인시 제작자가 제시하여야 한다. 단, 안전장치를 생략한 경우 내부 ARC 등에 의한 압력상승에 충분히 견딜 수 있는 구조로 되어 있어야 한다고 명시되어 있다.

##### 2.1.2 IEC 62271-203 External effect of the arc

IEC 규격에서는 Special Test로서 40kA 이상은 0.3초, 40kA 미만은 0.5초 이하로 2차 보호시간 내에서 실시토록 규정하고 있다.

##### 〈표 1〉 Performance criteria

| Rated short-circuit current | Protection stage | Duration of current | Performance criteria  |
|-----------------------------|------------------|---------------------|---|
| <40 kA r.m.s.               | 1                | 0.2 s               | No external effect other than the operation of suitable pressure relief devices |
|                             | 2                | ≤0.5 s              | No fragmentation (burn-through is acceptable)                                   |
| ≥40 kA r.m.s.               | 1                | 0.1 s               | No external effect other than the operation of suitable pressure relief devices |
|                             | 2                | ≤0.3 s              | No fragmentation (burn-through is acceptable)                                   |

##### 2.1.3 170kV GIS 탱크 파열 고장사례

170kV 50kA GIS DS 내부 절연과파괴로 인해 탱크가 파열된 사례가 있었으며 당시 고장전류는 32~39kA, 고장시간은 380~1350ms 지속되어 탱크 내부에 열팽창에 의한 압력이 38~48kgf/cm<sup>2</sup> 상승한 사례이다. 고장 이후 GIS의 사고 발생시 내부 압력 상승에 대한 탱크 보호용으로 방압판(Rupture Disk)을 설치하고 있으며 파열압력은 3상용 GIS는 10~12kgf/cm<sup>2</sup>, 단상용 GIS는 18~20kgf/cm<sup>2</sup>로 설치되어 있다.



〈그림 2〉 170kV GIS DS 탱크 파열 고장사진

##### 2.2 내아크 시험검토

시험대상 설비는 철거 보관중인 170kV 31.5kA 상분리형 GIS 2대를 이용하였으며 인가할 고장전류 크기 결정을 위해 154kV 변전소별 고장전류 크기 현황을 조사하여 결정하였다. 전체 82%의 변전소가 10kA 이상의 고장전류가 흐르는 것으로 조사되었으나 최소 고장전류에서도 내부 고장위치를 감지하기 위해서는 5kA를 시험 고장전류로 선정하였다. 또한 고장전류 인가시간은 계전기 동작시간 20ms에 차단기 동작시간 30ms를 더한 고장제거 최소시간 50ms로 결정하여 시험하였다.

##### 〈표 2〉 시험대상 설비

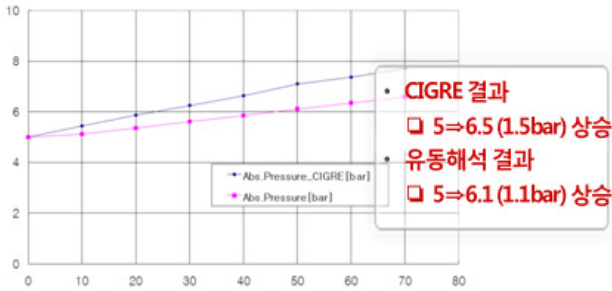
| 형태      | 규격                | 제작사 | 제작년도 |
|---------|-------------------|-----|------|
| T/L Bay | 170kV 31.5kA, 상분리 | 효성  | 1986 |
| B/T Bay | 170kV 31.5kA, 상분리 | 효성  | 1986 |



〈그림 3〉 시험대상 GIS 전경

### 2.2.1 시뮬레이션 결과

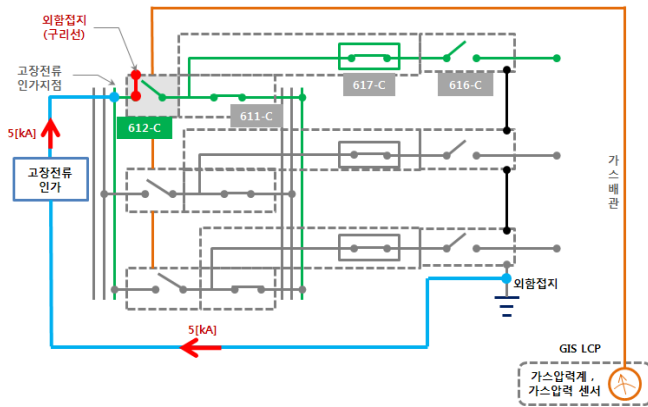
내아크 시험에 앞서 CIGRE SC23-WG03의 실험식과 CFD 유동해석을 통해 압력상승을 검토하였다. 고장전류 20kA를 50ms 인가시 CIGRE 실험식은 5kgf/cm<sup>2</sup>에서 1.5kgf/cm<sup>2</sup> 상승한 6.5kgf/cm<sup>2</sup>로 계산되었고 유동해석 결과는 1.1kgf/cm<sup>2</sup> 상승한 6.1kgf/cm<sup>2</sup>로 시뮬레이션 되었다. 이를 바탕으로 안전하게 시험을 수행할 수 있음을 확인하였다.



<그림 4> 시뮬레이션 결과 압력상승 그래프

### 2.2.2 내아크 시험수행

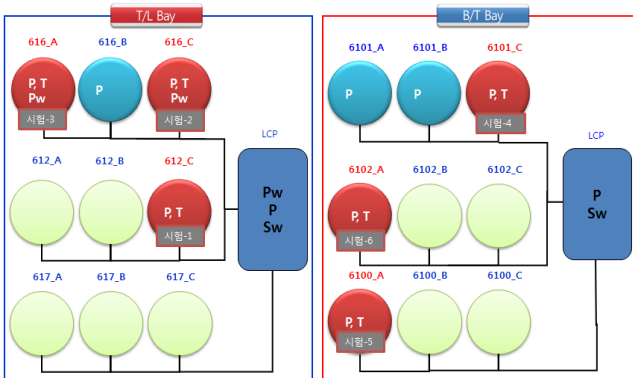
170kV 31.5kA 상분리형 GIS T/L Bay 1대와 B/T Bay 1대에 각각 3개소의 시험부위를 선정하였고 총 6회 시험하였다. 고장전류는 5회까지 5kA를 인가하였고 마지막 모션 DS부에는 10kA의 고장전류를 인가하였다. 내부 고장모의는 GIS 내부 도체와 점검창 내부의 흡착제 설치용 볼트 사이에 1mm 동선을 직결하고 고장전류는 모션을 통해 인가토록 하였다. 시험시 건전한 가스구획에 영향을 최소화 하고 불필요한 조작을 피하기 위하여 미리 회로조건을 검토하여 조치하고 수행하였다.



<그림 5> T/L Bay 모션 DS C상 고장전류 인가회로도

### 2.3 내아크 시험결과

내아크 시험시 탱크 내부와 가스주입구의 압력, 온도, 압력파를 측정하기 위해서 <그림 6>과 같이 센서를 설치하였으며 상분리형 GIS인 관계로 건전상으로 압력 전달을 확인하기 위해 압력센서를 설치하였다. P는 압력센서, T는 온도센서, Pw는 압력과 센서, Sw는 고장구간 판정용 압력센서를 나타내는 기호이다.



<그림 6> GIS 탱크 점검창 및 LCP 각종 센서 설치도

### GIS 점검창 센서 설치



### LCP 가스주입구 센서 설치



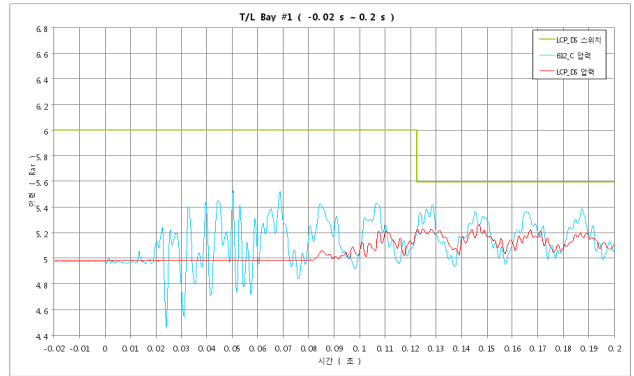
### 시험(고장전류 인가)



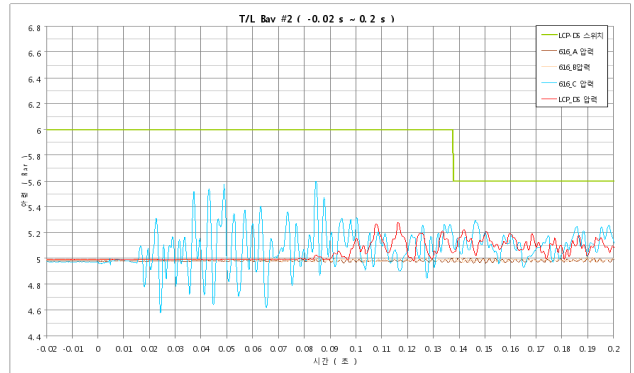
<그림 7> GIS 내아크 시험 사진

### 2.3.1 T/L Bay 내아크 시험결과 해석

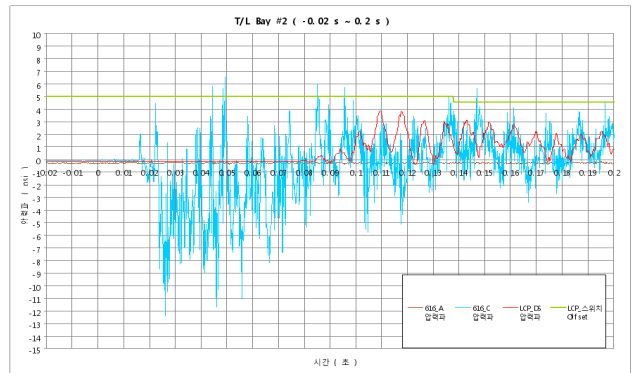
모션 DS C상 내아크 시험결과 탱크 내부 압력상승은 4.97kgf/cm<sup>2</sup>에서 5.53kgf/cm<sup>2</sup>로 0.56kgf/cm<sup>2</sup> 상승하였고 온도는 27.69℃ 상승하였다. LCP의 가스 주입구에 설치한 압력센서에는 0.28kgf/cm<sup>2</sup> 압력이 상승하여 고장구간 판정용 압력센서가 동작한 것을 확인하였다. 인출부인 616 C상 탱크 내부의 압력은 0.63kgf/cm<sup>2</sup> 상승하였고 온도는 9.68℃ 상승하였다. 건전상인 A, B상 탱크로의 압력전달은 0.05kgf/cm<sup>2</sup> 이하로 미미한 것을 확인할 수 있었고 LCP 가스주입구까지 연결된 가스배관을 타고 전달되는 압력은 0.29kgf/cm<sup>2</sup>로 130ms 이후 압력센서 동작을 확인하였다.



<그림 8> T/L Bay 모션 DS 612 C상 내아크 시험



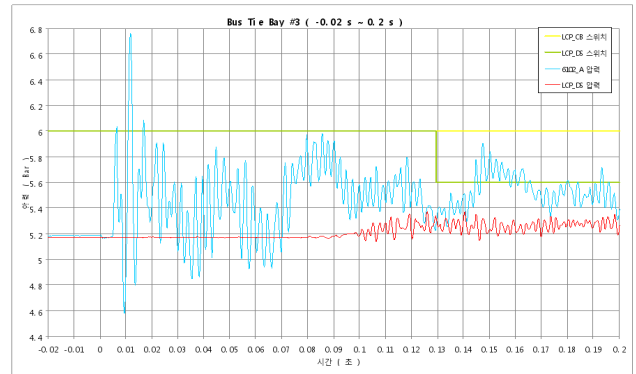
<그림 9> T/L Bay 인출 DS 616 C상 내아크 시험



<그림 10> T/L Bay 인출 DS 616 A상 내아크 시험

〈표 3〉 T/L Bay 시험결과 종합

| T/L Bay              | 회차 | 612_C       |              | LCP         |             | LCP         |             | 비고   |             |    |
|----------------------|----|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|-------------|----|
|                      |    | 압력          | 온도           | 압력          | 압력파         | 스위치         | 스위치         |  |             |    |
| 1회<br>612-C<br>(5kA) |    | 4.97        | 26.68        | 4.98        |             | ON          |             | 1. 압력 단위 : Kgf/cm <sup>2</sup><br>2. 온도 단위 : °C<br>3. 압력파 단위 : Psi |             |    |
|                      |    | 5.53        | 54.37        | 5.26        | 3.77        |             |             |  |             |    |
|                      |    | <b>0.56</b> | <b>27.69</b> | <b>0.28</b> | <b>3.77</b> |             |             |  |             |    |
| 2회<br>616-C<br>(5kA) |    | 4.97        | 27.08        |             | 4.98        | 27.79       | 4.98        | 4.99   | 기준          |    |
|                      |    | 5.6         | 36.76        | 6.58        | 5.02        | 27.87       | 5.03        | 5.28   | 3.88        | ON |
|                      |    | <b>0.63</b> | <b>9.68</b>  | <b>6.58</b> | <b>0.04</b> | <b>0.08</b> | <b>0.05</b> | <b>0.29</b>  | <b>3.88</b> | ON |

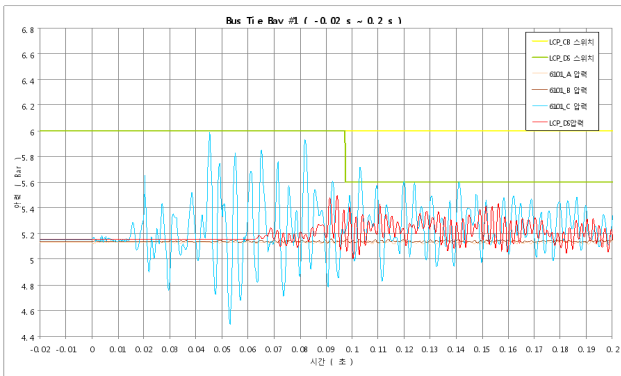


| B/T Bay                | 회차 | 6102_A 압력   | 6102_A 온도    | LCP 압력     | LCP 스위치 | 비고 |
|------------------------|----|-------------|--------------|------------|---------|----|
| 6회<br>6102-A<br>(10kA) |    | 5.18        | 28.7         | 5.17       | ON      | 기준 |
|                        |    | 6.76        | 54.42        | 5.37       |         | 최대 |
|                        |    | <b>1.58</b> | <b>25.72</b> | <b>0.2</b> |         | 차이 |

〈그림 13〉 B/T Bay DS 6102 A상 내아크 시험

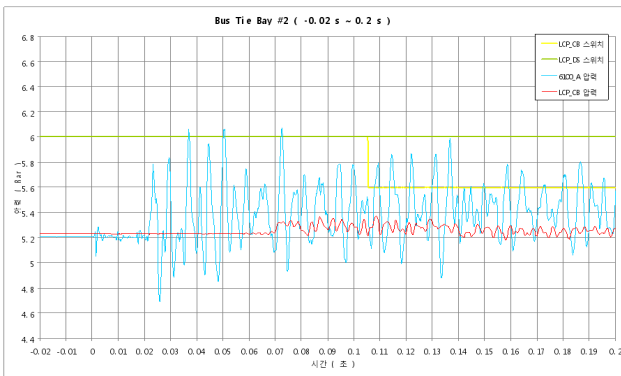
2.3.2 B/T Bay 내아크 시험결과 해석

모선 DS C상 내아크 시험결과 탱크 내부 압력상승은 5.15kgf/cm<sup>2</sup>에서 5.99kgf/cm<sup>2</sup>로 0.84kgf/cm<sup>2</sup> 상승하였고 온도는 18.41°C 상승하였다. 건전 상인 A, B 탱크로 전달되는 압력은 0.04kgf/cm<sup>2</sup> 였으며 LCP의 가스 주입구에 설치한 압력센서에는 0.35kgf/cm<sup>2</sup> 압력이 상승하여 고장구간 판정용 압력센서가 동작한 것을 확인하였다. 차단부인 6100 A상 시험결과는 0.87kgf/cm<sup>2</sup> 압력이 상승하였고 온도는 24.32°C 상승하였다. 마지막 시험은 모선 DS 6102 A상에 10kA의 고장전류를 인가하였으며 시험결과 압력은 1.58kgf/cm<sup>2</sup>, 온도는 25.7°C 상승한 것을 확인하였다. 아래 〈그림 14〉는 5회 시험시 탱크 내부의 온도상승 곡선을 나타내는 것으로 시험 전 온도를 회복하기까지는 2분 이상 소요되는 것을 확인할 수 있다.



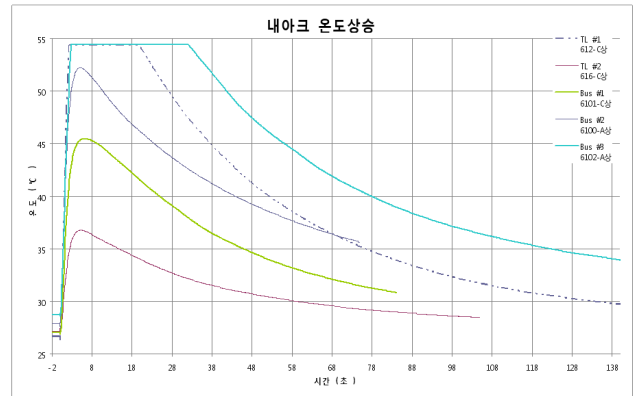
| B/T Bay               | 회차 | 6101_C 압력   | 6101_C 온도    | 6101_A 압력   | 6101_B 압력   | LCP 압력      | LCP 스위치 | 비고 |
|-----------------------|----|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------|----|
| 4회<br>6101-C<br>(5kA) |    | 5.15        | 27.03        | 5.13        | 5.14        | 5.15        | ON      | 기준 |
|                       |    | 5.99        | 45.44        | 5.17        | 5.18        | 5.5         |         | 최대 |
|                       |    | <b>0.84</b> | <b>18.41</b> | <b>0.04</b> | <b>0.04</b> | <b>0.35</b> |         | 차이 |

〈그림 11〉 B/T Bay 인출 DS 6101 C상 내아크 시험



| B/T Bay               | 회차 | 6100_A 압력   | 6100_A 온도    | LCP 압력      | LCP 스위치 | 비고 |
|-----------------------|----|-------------|--------------|-------------|---------|----|
| 5회<br>6100-A<br>(5kA) |    | 5.2         | 27.89        | 5.23        | ON      | 기준 |
|                       |    | 6.07        | 52.21        | 5.37        |         | 최대 |
|                       |    | <b>0.87</b> | <b>24.32</b> | <b>0.14</b> |         | 차이 |

〈그림 12〉 B/T Bay CB 6100 A상 내아크 시험



〈그림 14〉 탱크 내부 온도상승 곡선

3. 결 론

실 170kV 31.5kA GIS를 이용하여 내아크 시험을 시행함에 여러 가지 준비사항과 필요조건에 대해 검토해볼 수 있는 좋은 기회였다. 시험전 시뮬레이션 결과와 비교해 보면 CIGRE 실험식과 CFD 유동해석 결과 5kA 인가시 탱크내부는 0.3kgf/cm<sup>2</sup>, LCP 가스주입구는 0.07kgf/cm<sup>2</sup> 압력이 상승하였는데 실제 시험결과는 탱크내부에는 평균 0.73kgf/cm<sup>2</sup>, LCP 가스주입구에서는 0.27kgf/cm<sup>2</sup>로 시뮬레이션 결과보다 높게 압력상승이 됨을 확인할 수 있었다. 본 시험으로 GIS 내부 고장시 신속한 복구와 휴먼에러를 예방하기 위해 개발한 GIS 고장구간 판정시스템용 압력센서를 검증할 수 있었으며 현재 성동전력소 관내 2개 변전소에 시운전 결과를 최종 확인 후 확대적용을 추진할 계획이다. 차후 362kV, 800kV GIS에도 적용 가능성 검토가 필요할 것으로 사료되며 제작사와 공동으로 성능 개선을 통해 해외 수출용 GIS에 설치하는 것도 고려해볼 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 진상용, 145kV GIS의 내부고장 Arc 상태시험, LS산전, 2010.7
- [2] 한전표준규격 ES-5925-0001 교류차단기, 2007.10
- [3] IEC 62271-203 : Gas Insulated Metal Enclosed Switchgear for Rated Voltages above 52kV
- [4] 진상동, GIS 내부 ARC 발생시 물리적 변화에 관한 연구, 2010.7
- [5] 이봉희, GIS 고장구간 판별시스템 개발, 2010.7
- [6] 김도원, GIS 내부고장 판별을 위한 압력 센서 개발, 2010.7
- [7] 내부 고장위치 판별시스템 개발 TDR 보고서, KEPCO, 2010.11
- [8] 김홍규, 내부아크에 의한 압력상승 특성 및 해석기술, KERI, 2009.5
- [9] 김진범, GIS Fault ARC 해석, 효성중공업, 2010.3
- [10] 154kV GIS 내부고장개소 조기진단시스템 설치, KEPCO, 2006.10