

SF₆ GIS용 스페이서 표면에서의 파티클에 의한 절연파괴 특성연구

김재호 *이용길 **김동의 ***이세훈 김정달
경남대학교 전기공학과 *동의전문대 **영진전문대 ***충주산업대

A Study of Particle-Initiated Breakdown Characteristics on a Spacer Surface for SF₆ GIS

Jae-Ho Kim *Yong-Gil Lee **Dong-Eui Kim ***Sae-Hun Lee Jung-Dal Kim
Dept. of Electrical Eng. Kyung-Nam Univ. *Dong-Eui Tech. College
Yung-Jin Tech. College *Chung-Ju National Polytecnic Univ.

ABSTRACT

The influence due to metallic particle contaminated on spacer surface is remarkable in the decreasing of dielectric strength in SF₆ GIS. In relation with this problem, We studied, AC flash-over voltage characteristics and breakdown mechanism are investigated under metallic particle initiated condition in SF₆ gas by varying the particle position, particle shape with a plane-plane electrode.

The main results are as follows

1. The small amount of the metallic particle in the gap do not make flash-over voltage to be influence, but the significant decrease of th flash-overed voltage is result in case of the big and long size of the metallic paraticle.
2. Influence of the flash-over voltage are lowest in the mid and are highest in the electrode of metallic particle position.
3. In case of the initiated metallic particle, The more the pressure are high, the more the recluded ratio of flash-over voltage are high.
4. The metallic particle shape which results in the reduced flash-over voltage forced the critical pressure to move in to the region of low pressure.
5. The existance of the metallic particle on the upper electrode side and high pressure make the decreasing ratio of flash-over voltage bigger than that of the ground side electrode.

1 서론

SF₆가스는 전기적 절연성능 등이 우수하지만 전극표면상태나 혼입된 금속입자, 스페이서등에 의한 고전계의 출현으로 민감한 영향을 받는다. SF₆ 가스중의 파티클이 절연성능에 미치는 효과에 대한 연구는 해외의 경우 가스종류(SF₆가스 및 혼합기체), 스페이서의 형상, 파티클의 형상 및 위치, 인가전압의 종류등을 파라메타로 광범위하게 연구 발표 하고 있다. (1)(2)(3)(4)(5)

최근의 신기술로 실용화 되고 있는 배전제품 Medium-Voltage SF₆ GIS는 소비자들에게 적절영향을 주는 배전제품이므로 파티클이 기기 내부에 혼입되었을 때 절연파괴 특성에 관한 연구는 매우 절실하다. 따라서 본 연구에서는 배전제품 GIS에 주로 사용되어지는 SF₆ 가스압력 1~2[bar]의 범위 에 있으므로 SF₆ 가스압력 0.5[bar]~3.5[bar] 이하 AC전압에

서 금속 및 비금속 파티클이 GIS 내에 혼입되어 스페이서 면에 부착되었을 때 섬락전압(surface flashover voltage:FOV 이하 FOV라함)에 미치는 영향에 대해서 연구 검토하였다.

2 실험장치 및 실험방법

(1) 실험장치

그림 1은 본 연구에 사용한 실험장치이다.

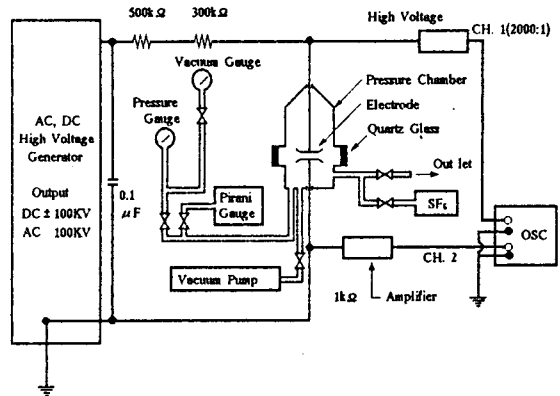


그림 1 실험장치

Test Chamber는 內徑 23[cm], 높이 27[cm]의 스테인레스 원통용기로 진공도 10⁻³ [torr]에서 압력 5[bar]까지 유지가능하고 전극은 스테인레스를 사용하여 Bruce형으로 설계하여 선반에서 가공하고 표면을 매끈하게 하였다.

스페이서는 plexiglas(PMMA)로 직경 10±0.01[mm]이며 금속 파티클은 원형 및 선형으로 그 크기를 변화시켰다.

전극과 스페이서의 구성, 파티클의 부착 위치는 그림 2와 같다.

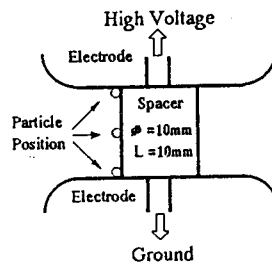


그림 2 전극구성과 파티클위치

(2) 실험방법

Chamber 내에 시료를 삼입한 후 진공배기장치로 배기시킨 후 시험압력으로 충전했다. 전압은 그림 1의 상단에 설치된 고전압 붓싱을 통하여 인가하며 전압상승은 예상파괴전압의 70%까지는 직선 상승법으로 하고 그 이후는 1[kV/s]의 계단상승법으로 파괴시까지 상승시켰다. 전압측정은 40[kV]까지는 고전압 probe(2000:1)을 통하여 디지털 전압계와 오실로스코프로 측정했다. 그 이상은 제어반의 전압계 후단에 연결한 DVM 으로 측정했다.

3. 실험결과 및 검토

(1) 스페이스 효과 및 금속돌기의 영향

그림 3은 10[mm]갭에서의 스페이스효과 및 금속돌기의 영향에 대해서 압력을 파라메타로 나타낸 FOV 특성으로 (1)은 SF₆가스만의 특성곡선으로 압력증가에 따라 거의 비례적으로 상승되고 있다. (2)는 10[mm]갭내에 청정한 스페이스가 존재하는 경우로 그림 ①과 ②를 비교해 보면 스페이스 효과는 약 95[%]로 되어 스페이스의 전극간 접촉상태와 표면상태가 양호함을 알 수 있고 스페이스가 존재해도 1.5[bar] 압력범위 내에서 FOV는 압력증가에 따라 거의 비례적으로 상승됨을 보여 준다. 이와같은 현상은 SF₆가스중 평등전계 구성에서 청정한 스페이스 구성에서는 코로나 발생이 파괴극한전계 직전에서 발생되므로 코로나의 영향이 배제된 전계에 의한 파괴라 볼 수 있다. (3),(4),(5),(6)은 0.5[bar]~2[bar]까지의 경향은 FOV가 압력이 증가할 수록 직선적으로 상승되며 2[bar] 이상에서는 압력증가에 따라 FOV가 직선적으로 증가하지 않고 (5)의 경우와 같이 2.5[bar] 부근에서는 감소되어 그 이상의 압력증가에 따른 파괴전압의 상승효과는 미약함을 나타낸다. 따라서 금속파티클, 즉 돌기가 존재할 때 심각한 FOV의 감소를 초래하며 그 영향은 가스압력 2[bar] 이상에서 매우 크게 나타나 압력 증가에 따른 FOV 증가를 기대할 수 없으며 압력이 낮을 때는 돌기 위치의 영향은 적으나 압력이 높아지면 고전위축에 있을 때가 접지축에 있을때 보다 FOV가 다소 낮아짐을 알 수 있다. 고압력하에서 고전위축에 돌기가 있을 때가 접지축에 있을때 보다 FOV가 낮아지게 되는 것은 교류전압에서 정의 반파 피크에서의 코로나가 고전위축 돌기 선단에서 발생되고 또한 정 Streamer의 진전이 용이하기 때문이라 생각된다.

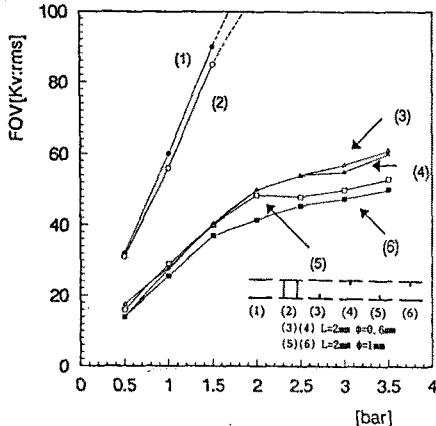


그림 3 스페이스 효과와 금속돌기에 대한 FOV 곡선

(2) 구형 파티클의 영향

구형파티클의 직경이 1[mm], 1.5[mm], 2[mm]의 3종류를 각각 스페이스 표면 상부(고전위축)와 중앙, 하부(접지축)에 부

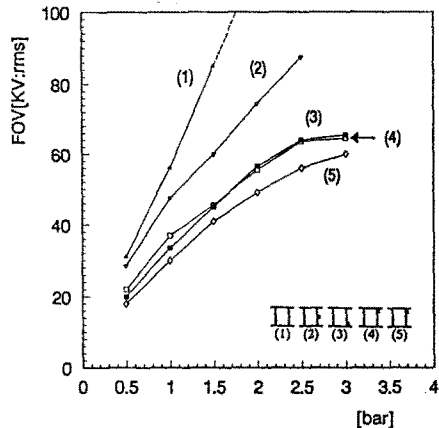


그림 4 직경 1mm 불형 파티클의 FOV 곡선

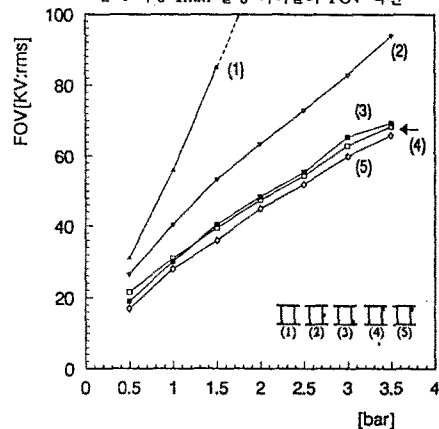


그림 5 직경 1.5mm 불형 파티클의 FOV 곡선

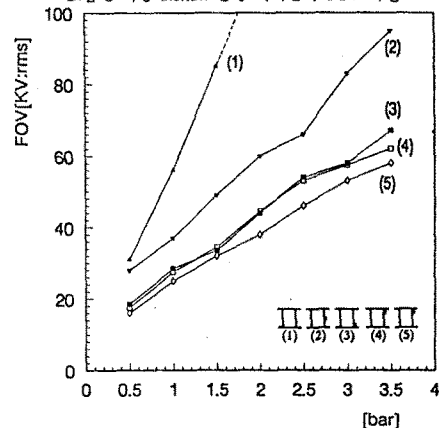


그림 6 직경 2mm 불형 파티클의 FOV 곡선

착하여 전극에 밀착시킨 경우와 전극에서 각각 1[mm] 떨어진 위치에 있을 때 파티클의 직경 및 위치, 압력변화가 FOV에 미치는 영향에 대해서 조사했다.

그림 4는 직경 1[mm]의 가장 작은 구형입자의 압력변화에 따른 파티클 위치별 FOV 특성곡선을 나타낸다. FOV 감소율은 저압력에서 보다 고압력으로 증가됨에 따라 감소율이 대체로 비례적임을 볼 수 있으며 (2)가 파티클 위치중 가장 높은 FOV 특성을 나타낸다. (3)과 (4)는 FOV의 감소를 경향은 비슷하며 2.5[bar]와 3[bar] 사이에서는 거의 FOV 상승이 나타나지 않아 압력이 증가하면 파티클 위치에 매우 큰 영향이

있음을 알 수 있다. (5)는 파티클이 상부전극면에서 1[mm]떨어진 위치에 부착된 경우로 FOV 특성곡선의 경향은 유사하나 (3), (4)보다가 평균 20[%]정도 낮은 값으로 나타났다. 압력이 증가할 수록 저압력측이 고압력측 보다 FOV가 다소 높게 나타나고 파티클 사이즈가 증가할 수록 감소율이 커짐을 보여주고 있다. 이와같은 현상은 파뢰가 교류 정의 반파피크에서 일어날 때 발생한 코로나의 정 스트리머가 성장 및 진전이 용이하기 때문이라고 생각된다.

그림 5의 직경 1.5[mm]와 그림 6의 직경 2[mm]도 그림과 같이 1[mm] 일때와 비슷한 경향을 보여주고 있으며 파티클이 스페이스 중앙에 위치할 때는 압력증가에 따라 FOV 감소율은 50[%] 이하로 나타나므로 파티클 위치중 가장 영향이 적음을 보여주며 저압력에서는 영향을 더욱 적게 받고 있다. 이러한 현상은 파티클이 전계분화에는 영향을 주나 직접 코로나 발생을 유도하는 돌기로 작용하지는 않기 때문이라 생각된다.

(3)선형 금속파티클의 영향

그림 7은 선형 파티클이 스페이스 표면 고전위측 및 중앙, 접지측에 놓여진 경우와 전극면에서 1[mm]떨어진 스페이스 표면에 있는 경우의 압력변화에 따른 FOV 특성곡선이다. 선형파티클은 구형 파티클에 비해 더욱 심한 FOV 감소를 나타내고 있으며 압력 변화에 따른 영향도 더욱 크게 작용함을 알 수 있다. 그림에서 1[bar]이하의 저압력에서는 파티클 영향은 크게 작용하나 위치별 영향은 거의 없다. 그림중 (2)의 경우 1[bar]이상에서 부터는 증가율이 감소되어 2[bar]에서 3[bar]사이에서 임계압력에 의한 현상도 나타난다. 선형파티클이 스페이스 중앙에 있어도 구형파티클과 달리 압력증가에 따라 비례적으로 상승하지 않고 임계압력에 의한 FOV 감소현상이 나타나 압력증가에 따른 파괴전압의 비례적 상승효과를 기대할 수 없는 특성을 보여 준다. 그림중 (3)(4)의 상하부 전극표면과 스페이스에 부착된 경우 1.0[bar]에서 부터 큰폭으로 FOV 감소가 일어나 2.0[bar] 부터는 FOV가 오히려 감소하므로 임계압 현상이 작용함을 볼 수 있다. 그림중 (5)는 상하부 전극에서 1[mm] 떨어진 위치에 파티클이 스페이스 표면에 부착된 경우로 2[bar]까지는 전극면에 붙어 있는 경우보다 낮은 FOV를 나타낸다. 그러나 그 이상의 압력에서는 (3),(4)의 경우 보다도 다소 높게되는 특성을 나타낸다.

그림 8는 다소 굵은 선형파티클이 스페이스 표면 고전위측 및 중앙, 접지측에 위치된 경우의 압력별 FOV 특성곡선을 나타낸 것이다. 그림 8과 비교해 보면 위치에 관계없이 파티클 직경이 커짐에 따라 FOV 증가율이 감소된 것을 볼 수 있고 파티클이 중앙에 위치하는 (2)는 0.6mm인 경우와 유사하게 2[bar]~3[bar] 사이에서 FOV 증가가 거의 없다가 다시 상

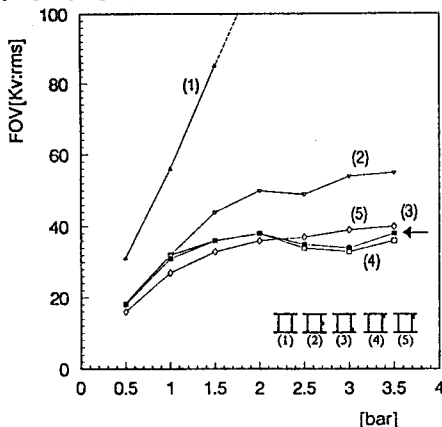


그림 7 직경 0.6mm, 길이 2mm 선형 파티클의 FOV 곡선

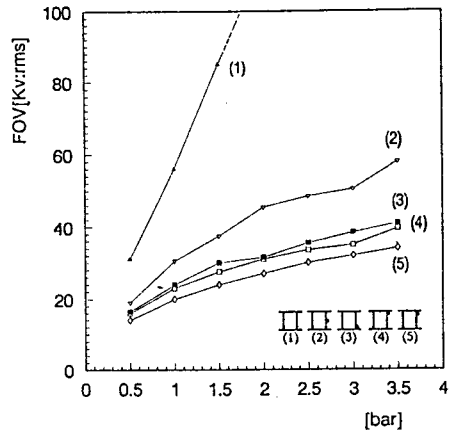


그림 8 직경 1mm, 길이 2mm 선형 파티클의 FOV 곡선

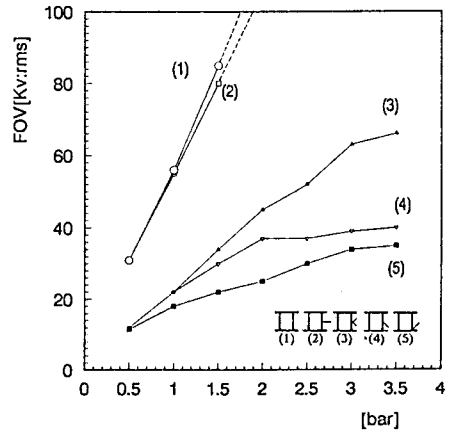


그림 9 직경 0.1mm, 길이 5mm 금속(세선) 파티클의 FOV 곡선

승되는 임계압력현상을 나타내고 있으며 압력증가에 의한 FOV 상승효과를 기대할 수 없음을 알 수 있다. 선형파티클은 구형파티클에 비해 고압력하에서 FOV 감소율이 더욱 커지고 임계압력현상이 분명히 나타나는 것은 선형 파티클은 선단전계가 구형에 비해 매우 강하게 작용되어 Corona 발생이 구형보다 조기에 발생되기 때문이며 직경 0.6[mm], 길이 2[mm]의 가는 파티클인 경우가 국부적 불평등전계를 크게 형성하기 때문에 임계압력현상이 더욱 강하게 나타나는 것이라고 생각된다. 코로나 발생과 진전이 FOV에 미치는 영향을 알아보기 위해 코로나 진류필스를 관측한 결과 사진 1은 금속돌기 5mm가 접지측전극에 위치한 경우의 코로나번스이다. 사진 1과 같이 부의 반파에서는 정의 경우보다 필스수는 많지만 크기는 적고 균일한 형태를 볼 수 있고 정의 반파에서 발생하는 코로나 필스수는 적지만 크게 성장됨을 볼 수 있어 AC전압 파뢰는 정의반파 피크치에서 발생됨을 알 수 있다. 사진 2는 스페이스와 금속돌기가 함께 있는 경우로 전자보다 정의반파에서는 필스수는 많고 규칙적이다. 부의 반파에서는 필스수와 크기가 감소함을 볼 수 있는데, 이것은 이온이 스페이스에 부착되어 공간전하 형성을 감소시키기 때문이라고 생각된다.

실제 GIS 내부에 존재할 수 있는 것은 돌기 및 구형으로 된 큰것 보다 긴 세선이나 미세한 금속분말형으로 되기 쉬우므로 이들을 모의하여 금속세선 직경 0.1[mm], 길이 5[mm]로 하여 실험한 결과를 그림 9에 나타낸다. (2)와 같이 세선이 스페이스 중앙에 축방향으로 선 경우에도 저압력 측에서의 영향은 매우 적으며 압력이 증가함에 따라 FOV가 다소 감소되고 있으나 그 영향은 매우 적다. 그림중 (3)은 FOV 감소가 (1)에 비해 60[%]정도로 감소 되었으며 경향은 스페이스면 중

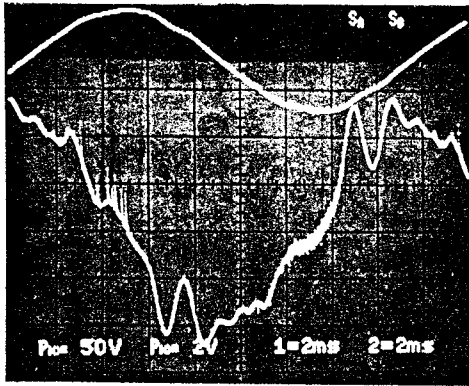


사진 1 코로나 전류펄스

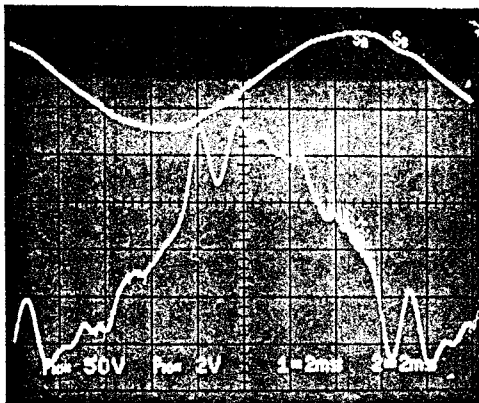


사진 2 코로나 전류펄스

안에 위치한 경우와 유사한 특성을 보인다. (4)는 2[bar] 이상에서는 압력증가에 따라 FOV 증가를 거의 볼 수 없을 정도로 낮아짐을 보여준다. (5)는 세선이 전극에 접촉해서 스페이스 표면에 위치된 경우로 전 압력 범위에서 가장 낮은 FOV 값을 나타내므로 갭간 파티클이 적었던 경우의 영향이 가장 크게 작용한다는 것을 알 수 있다.

실계통에서 파티클이 부착하기 쉬운 형은 (3)(4)(5)의 경우로 미세한 선상 금속파티클이 GIS 내에 포함되면 전 압력범위에서 심한 FOV 감소를 초래하고 특히 2[bar] 이상의 고압력하에서는 FOV 상승효과를 기대할 수 없을 정도라는 것을 알 수 있다.

금속분말의 영향을 알아내기 위해 알루미늄 분말을 전극간에 두고 교류전압을 인가하여 6[kV] 이하에서 부상하는 크기와 6~10[kV] 범위에서 부상하는 2종류를 선택하여 그 양을 0.2, 0.3, 0.5[g]으로 나누어 실험한 결과 6[kV] 이하에서 부상하는 미세한 파티클은 그 양이 0.2[g] 일때는 거의 영향이 없었고 그 양이 증가됨에 따라 FOV 감소 영향이 나타났다. 또 6~11[kV] 범위에서 부상하는 금속분말에서는 0.2[g] 이하에서도 영향이 작음하며 0.2[g] 이상에서는 상당한 FOV 감소를 나타내었다.

4 결론

평행평판전극을 갭 10[mm]로 고정된 전극구성에서 SF₆ 가스압력 0.5~3.5[bar]로 변화시켰을 때 교류섬락전압에 미치는 금속물기의 영향, 스페이스표면에 부착된 금속파티클의 영향 및 미소갭효과에 대해서 연구 검토한 결과 금속 파티클이 FOV에 미치는 영향을 요약하면,

- ① 파티클이 존재하면 전 압력범위에서 FOV 감소가 크게 나타나며 특히 저압력의 범위에서 보다 고압력 범위에서의 영향이 더욱 크다.
- ② 파티클이 스페이스 표면 상하부 전극측에 있을 때가 중앙에 있을 때 보다 영향이 크다.
- ③ 저압력에서는 파티클이 접지측에 있는 경우가 고압력에서는 고전위측에 있을 때의 FOV가 낮다.
- ④ 선형 금속파티클이 구형 금속파티클에 비해 더욱 FOV 감소율이 크다.
- ⑤ 직경이 클수록 FOV 감소는 크게 나타나지만 압력이 증가하면 직경보다는 길이에 더욱 영향을 크게 받는다.
- ⑥ 입계압력현상은 FOV 감소율이 커지는 파티클 일수록 저압력 범위에서 나타난다.
- ⑦ 금속분말은 미세한 분말의 양이 0.2[g] 이니로 작으면 큰 영향이 없으나 양이 증가하고 입자가 크면 FOV를 감소시킨다.

SF₆ GIS내에 금속파티클이 존재하면 섬락전압이 크게 낮아짐을 알 수 있다. 따라서 파티클이 혼입되지 않도록 해야하며 파티클 Trap 장치의 설치가 요망된다. 향후과제로서 파라미터를 좀더 다양하게 하고 비금속에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

5 참고문헌

- [1] Li Ming M.A.S.Leijon "Behavior and Effect of Conducting Spiral Particles under AC Voltage in a Gas Insulated Electrode System", IEEE Trans PD Vol.3.NO.1, pp.159~166 January 1988.
- [2] 原雅則 "SF₆가스中の金屬粒子汚損直流沿面フラシオンバに對する沿面形狀の影響", T.IEE Japan Vol 110-13, NO.7.90 昭和58年9月16日
- [3] H.Anis and K.D.Srivastava "Free conducting Particles in Compressed Gas Insulation", IEEE Trans.Vol EI-16.NO.4, pp.327~338 August 1981
- [4] 青柳浩邦,小林伸光 "GISに混入した金屬異物の舉動解析と絶縁破壊の理論的檢討(交流電壓)", 電學論 B,108卷, 4號, PP.173~179 昭63
- [5] R.E.Wootton, A.H Cooksoon, F.T. Emery "Investigation of HV Particle-Initiated Breakdown in Gas-Insulated Systems" EPRI Report, EL-1007, 1971