

Küre-Düzlem Elektrot Sisteminde Azotun Darbe Delinme Gerilimi

H. İSMAİLOĞLU, Ö. KALENDERLİ

İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü
80626 - İSTANBUL

ABSTRACT

Breakdown strength of nitrogen (N_2) under standard lightning impulse voltages at non-uniform field was experimentally investigated. The experiments were carried out with sphere-plane electrode system placed in a pressure vessel. The electrode gap spacing and the relative gas pressure were varied within the range of 5 mm to 25 mm and of 0 bar to 4 bars, respectively. At each pressure, lightning impulse breakdown voltages for both negative and positive polarities were measured.

Breakdown voltage of N_2 increases either with an increasing gap spacing or with an increasing gas pressure. Breakdown voltages of N_2 in used electrode system under positive impulses, were higher than those of under negative impulses at small gap spacing; but much lower at greater gap spacing. In the experiments, breakdown voltages of sphere-plane with protrusion electrode system were found to be higher than those of sphere-plane electrode system under both polarities.

GİRİŞ

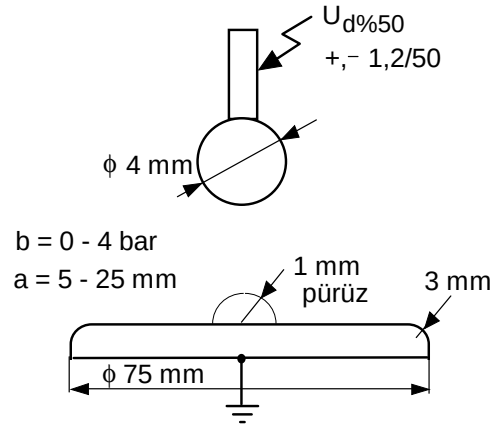
Yüksek gerilim sistemlerinde gazlar farklı ölçülerde de olsa yalıtım işlevine katılmakta veya ana yalıtkan olarak kullanılmaktadır. Sistemlerin işletimi ve güvenilirliği bakımından gazların elektriksel delinme gerilimlerinin ve delinme dayanımlarının bilinmesi önemlidir. Gazların delinme dayanımları normal koşullarda katı ve sıvı yalıtkanlara göre daha düşüktür. Bu nedenle yalıtımında gazların bulunduğu sistemlerde daha dikkatli davranılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, düzgün ve düzgün olmayan alanlarda çeşitli elektrot sistemleri için hava, azot, kükürthekzaflorür veya bu gibi gazların veya bunların ikili veya üçlü karışımından oluşan ve yüksek gerilim sistemlerinde yalıtım amacıyla kullanılan gazların alternatif, doğru ve darbe gerilimlerinde delinme gerilimlerinin ve delinme dayanımlarının elektrot biçimi, elektrot boyutları, elektrot açıklığı, elektrot yüzey durumu, elektrot malzemesi, gaz basıncı, gaz sıcaklığı ve nemi gibi değişkenlere bağlı olarak değişimleri çok uzun zamandan beri incelenmektedir [1-9]. Amaç yalıtkanların farklı koşullardaki davranışlarını incelemek ve olumlu ve olumsuz yanlarını ortaya koymak, davranışlarının

nedenlerini araştırmak ve ona göre seçimini ve kullanımını sağlamaktır [10-13].

Sunulan bu çalışmada, yukarıda belirtilen amaç çerçevesinde, küre-düzlem ve küre-pürüzlü düzlem elektrot sistemlerinde, azot (N_2) gibi yüksek gerilim tekniğinde yaygın kullanım alanı bulan teknolojik ve elektronegatif bir gazın yıldırım darbe geriliminde delinme gerilimlerinin, elektrot açıklığına, gaz basıncına ve gerilimin ucayına (kutbiyetine) bağlı olarak değişimleri deneysel olarak incelenmiş, kullanılan deney düzeni, deneyin yapılışı, deney sonuçları ve değerlendirmeleri açıklanmıştır.

DENEY DÜZENİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Çalışmada, uygulamada pekçok durumda aynen veya benzer olarak karşılaşılan bir elektrot sistemi olması ve düzgün olmayan elektriksel alan dağılımına sahip bulunması ve boşalma olayları bakımından daha kritik davranışlar göstermesi nedeniyle küre-düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Elektrot sistemi.

Kullanılan elektrot sistemi, 4 mm çapında küre elektrot ile 3 mm'lik kenar eğrilik yarıçapına sahip 15 mm kalınlığında ve 75 mm çapında disk biçimi düzlem elektrottan oluşan bir elektrot sistemidir. Çalışmada azotun delinme dayanımına elektrot yüzey pürüzünün varlığının etkisini incelemek amacıyla ikinci bir düzlem elektrot daha kullanılmıştır. İkinci düzlem elektrot birincisi ile aynı boyutlardadır. Bu elektrodun üst yüzeyinin ortasına yapay olarak 1 mm yarıçaplı yarıküresel iletken pürüz oluşturulmuştur.

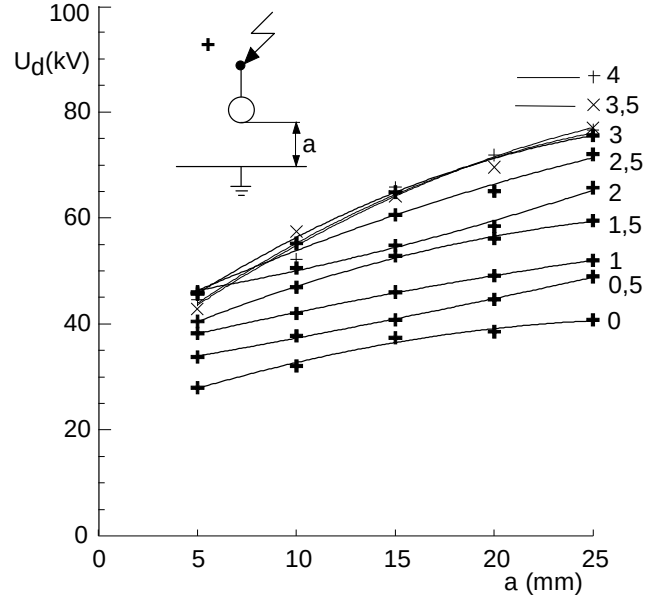
Deneyler küre-düzlem ve küre-pürüzlü düzlem elektrot sistemlerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Söz konusu elektrot sistemi, 6 bar'lık saydam pleksiglas gövdeli özel bir basınç kabı içine yerleştirilerek yapılmıştır. Deneylerde elektrot sisteminin küresel elektrodu gerilim kaynağına bağlanmış, düzlem elektrot ise topraklanmıştır.

Deneyler, elektrot sistemine pozitif ve negatif ucaylı standart yıldırım darbe gerilimleri uygulanarak yapılmıştır. Bu gerilim türü, azotun yıldırım aşırı gerilimlerine karşı davranışını ve bu davranışta aşırı gerilimin ucayının etkisini görmek amacıyla seçilmiştir. Deneylerde, pozitif ve negatif ucaylı standart yıldırım darbe gerilimleri (1,2/50 **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**s), 280 kV, 200 J'luk iki katlı darbe gerilimi üreticinden elde edilmiştir. Delinme gerilimlerinin tepe değerleri, darbe gerilimi üreticinin çıkışına bağlı bir kapasitif gerilim bölücü üzerinden bir dijital tepe değer voltmetresi ile ölçülmüştür. Ölçmelerde delinme gerilimi değeri olarak % 50 atlama gerilimi değeri esas alınmıştır. % 50 atlama geriliminin saptanmasında, alışılmış yöntemlerden farklı olarak, ölçülen gerilim değerlerinden yararlanılarak en küçük kareler yöntemine dayanan eğri uydurma yöntemi kullanılmıştır. Bu uygulamanın doğruluğu alışılmış yöntemlerle bulunan hesap ve deney sonuçları ile karşılaştırılarak sınanmış, bu yaklaşımın çok iyi sonuç verdiği görülmüştür.

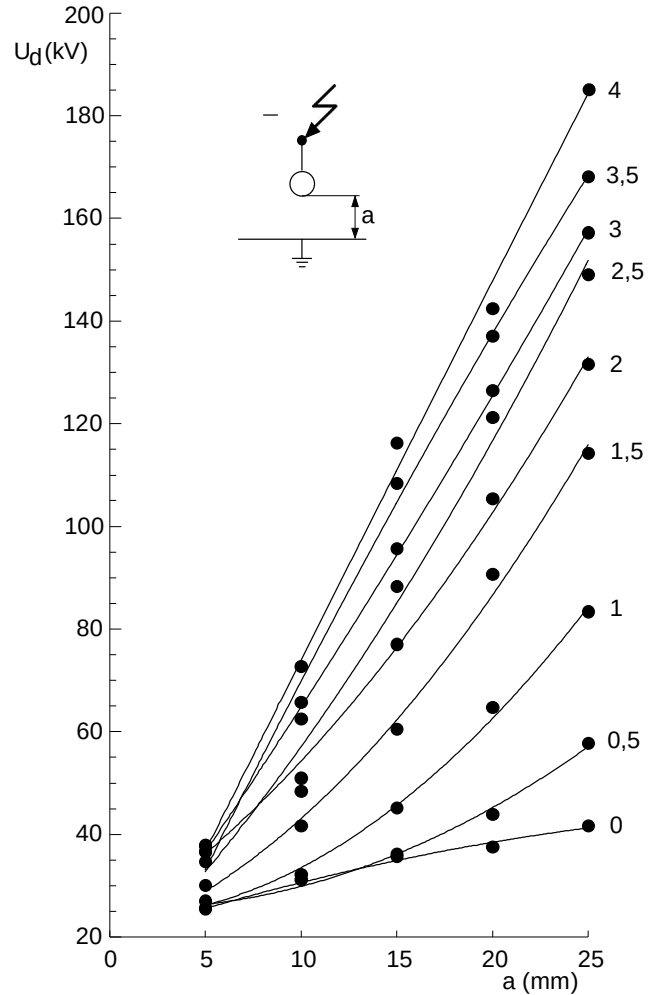
Azot için delinme geriliminin elektrot açıklığı ile değişiminin elde edildiği deneylerde, elektrot açıklığı 5 mm'den 25 mm'ye kadar 5 mm'lik açıklık artırımları ile değiştirilmiştir. Elektrot açıklığını yüksek gaz basınçlarında da gaz sızdırma sorunu ile karşılaşmadan değiştirebilmek için basınç kabına özel bir düzenek yapılmış ve elektrot açıklığı masterlar yardımıyla $\pm 0,001$ mm tolerans ile ayarlanabilmiştir. Çalışmada, uygulamada gazların farklı basınç koşullarında da bulunabilecekleri gözönüne alınarak basıncın delinme gerilimine etkisini incelemek amacıyla, gaz basıncı 0-4 bar arasında (normal atmosfer basıncı 0 bar alınmıştır) 0,5 bar basınç artırımları ile değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce basınç kabı vakumla boşaltılıp içinde yabancı gaz kalması önlenmiş, daha sonra istenen basınca kadar azot gazı doldurulmuştur. Basınç değiştirilerek yapılan deneyler sırasında her basınç kademesinde gaz basıncının kararlı duruma gelmesine kadar beklenmiş ve daha sonra düzenli zaman aralıkları ile darbe gerilimleri uygulanmıştır.

DENEY SONUÇLARI

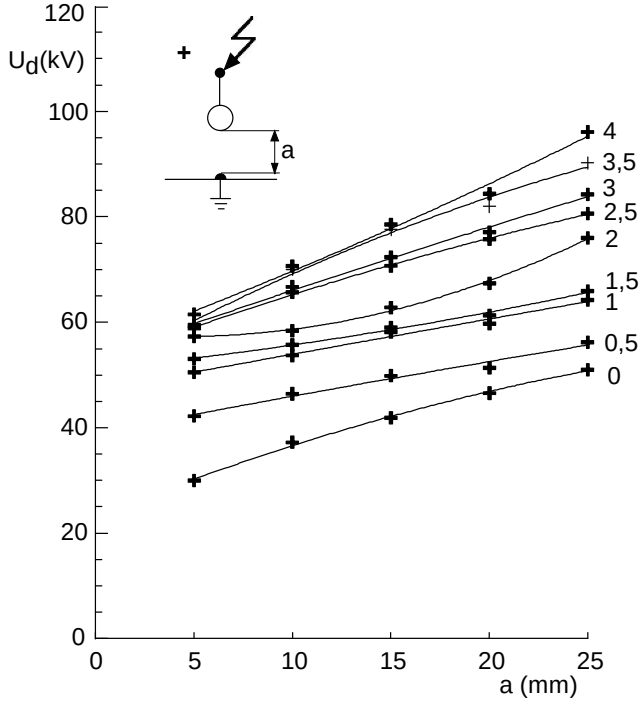
Şekil 2 ve 3'de, küre-düzlem elektrot sisteminde farklı basınçlarda azotun sırasıyla pozitif ve negatif darbeye delinme geriliminin elektrot açıklığı ile değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4 ve 5'te ise küre - üzerinde 1 mm



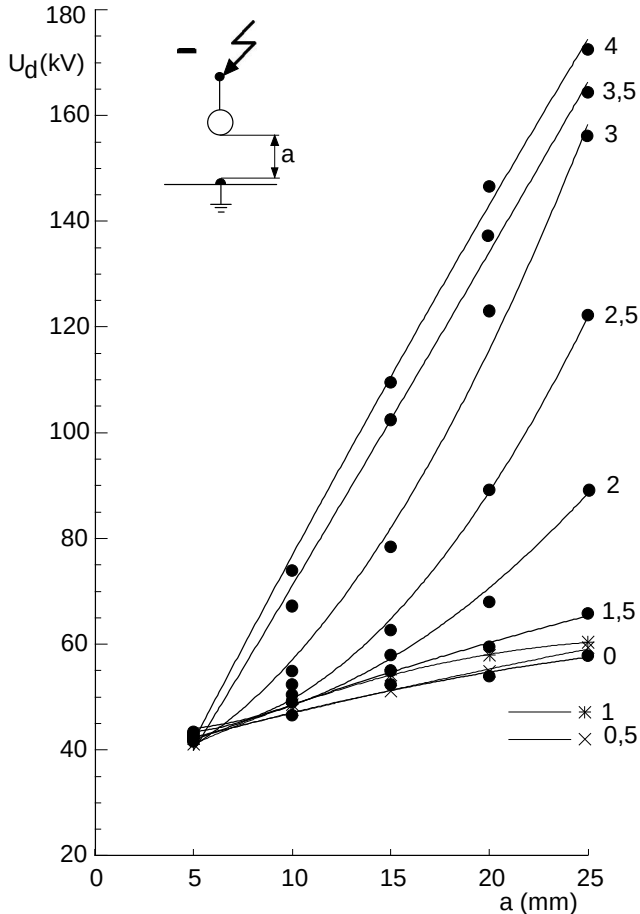
Şekil 2. Küre-düzlem elektrot sisteminde, 0-4 bar basınç aralığında azotun pozitif darbe geriliminde $U_d=f(a)$ eğrileri.



Şekil 3. Küre-düzlem elektrot sisteminde, 0-4 bar basınç aralığında azotun negatif darbe geriliminde $U_d=f(a)$ eğrileri.



Şekil 4. Küre-pürüzlü düzlem elektrot sisteminde, 0-4 bar basınç aralığında azotun pozitif darbe geriliminde $U_d=f(a)$ eğrileri.



Şekil 5. Küre-pürüzlü düzlem elektrot sisteminde, 0-4 bar basınç aralığında azotun negatif darbe geriliminde $U_d=f(a)$ eğrileri.

yarıçaplı pürüz bulunan düzlem elektrot sisteminde, farklı basınçlarda azotun sırasıyla pozitif ve negatif darbe geriliminde delinme geriliminin elektrot açıklığı ile değişimleri verilmiştir.

Şekil 2'den, pozitif küre-düzlem elektrot sistemi için delinme gerilimlerinin elektrot açıklığı ve basınçla arttığı ve yaklaşık 20 mm'den sonra eğrilerde bir doyma başladığı görülmektedir. Şekil 3'teki negatif küre-düzlem elektrot sisteminin delinme eğrileri pozitiftekine göre farklı bir değişim göstermektedir. Negatif darbедeki delinme gerilimleri genel olarak pozitif darbедekinden daha yüksektir. Ayrıca negatif darbедeki delinme eğrileri pozitiftekilere göre çok hızlı bir yükselme göstermektedir.

Küre-pürüzlü düzlem elektrot sistemi durumunda ise azotun pozitif darbe delinme gerilimleri, çalışılan basınç ve açıklıklarda; negatif darbe gerilimleri ise küçük açıklık ve basınçlarda, küre-düzlem sistemi durumundakine göre daha yüksektir. Açıklık ve basınç büyüdükçe pürüzün etkisi hemen hemen kalmamaktadır. Şekil 4 ve 5'te küre-pürüzlü düzlem sisteminde elektrot açıklığı ve basınçtaki artışla delinme gerilimlerinde sürekli yükselme gözlenmektedir.

Pozitif darbe gerilimlerinin basınçla değişimi, Medeiros ve Naidu'nun çalışmalarına [3] benzemekle birlikte; düşük basınçlarda daha büyük ve basınç büyüdükçe daha küçük bir eğim izlemektedirler. Negatif darbe gerilimleri ise söz konusu çalışma sonuçlarına göre basınçla daha hızlı bir artış göstermektedir. Pozitif darbede 25 mm elektrot açıklığında elde edilen delinme gerilimi, 0 bar basınçta, 30 mm elektrot açıklığındaki 0,4 mm yarıçaplı çubuk-düzlem elektrot sistemi için Voss tarafından verilen değerle [14] uyumludur.

Pozitif darbe geriliminde, 10 mm elektrot açıklığında, 0-4 bar basınçlarında elde edilen delinme gerilimi eğrileri, Yializis ve arkadaşlarının [7], aynı elektrot açıklığı ve basınç aralığında 6,3 mm yarıçaplı çubuk-düzlem elektrot sistemi için verilen eğri ile benzer karakterdedir. Aynı gerilimler, Kuffel ve Yializis'in, 0,8 mm yarıçaplı çubuk-düzlem elektrot sisteminde, 5, 10 ve 20 mm elektrot açıklığı için vermiş oldukları [8] delinme gerilimlerine yaklaşık eşittir. Negatif darbe geriliminde, 10 mm elektrot açıklığındaki sonuçlar da, araştırmacıların verdikleri sonuçlarla uyumludur.

Elde edilen sonuçlara bakılarak yüzey pürüzlerinin, küçük elektrot açıklıklarında alanın bozulmasına, iyonizasyona ve boşalmanın yoluna etki ederek daha düşük gerilimlerde delinme oluşmasına yol açtığı kabul edilebilir. Uzunluklarının etkisinin arttığı elektrot açıklıklarında boşalma yolunun, deneyler sırasında gözlemlendiği gibi, elektrotların en kısa açıklığından (orta bölgeden) yan bölgeye kayması yüzey pürüzlülüğünün etkisini azaltmakta hatta

boşalma yolunun uzamasına yol açarak delinme geriliminin yükselmesine neden olmaktadır. Darbe geriliminde boşalma için gerekli elektrikli parçacıkların oluşumu ve birikimi için sürenin yeterli uzunlukta olmaması da, ucayın ve pürüzün etkisinin az olmasına yol açmaktadır [14-17].

SONUÇ

Sonuç olarak çalışmada, küre-düzlem elektrot sisteminde yıldırım darbe geriliminde azotun delinme gerilimine elektrot açıklığının, gaz basıncının, gerilim ucayının ve elektrot yüzey pürüzlülüğünün etkileri deneysel olarak incelenmiş, delinme gerilimi değerleri ayrı ayrı verilmiş ve yorumlanmıştır. Bunlara göre azotun delinme geriliminin çalışılan koşullarda elektrot açıklığının ve basıncın artışı ile arttığı ve negatif darbe gerilimindeki delinme gerilimi değerlerinin pozitif darbe gerilimindeki delinme gerilimi değerlerine göre daha yüksek olduğu ve daha hızlı yükseldiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] H. İsmailoğlu, Ö. Kalenderli, M. Özkaya, İ. Gönenç, Darbe geriliminde havanın delinme dayanımı, Elektrik Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, Bursa, 11-17 Eylül 1995, s. 257 - 260.
- [2] M. Farsadi, K. Mardikyan, M. Özkaya, Düzgün ve Düzgün Olmayan Alanlarda Sıkıştırılmış N₂ Gazında Elektrot Pürüzlülüğünün Delinme ve Korona Başlangıç Gerilimine Etkisi, Elektrik Mühendisliği 3. Ulusal Kongresi, İstanbul, Cilt 3/1, s.213-216.
- [3] P.T. Medeiros and S.R. Naidu, Positive and Negative Lightning Impulse Breakdown of Rod-Plane Gaps in Nitrogen, Conf. on Electr. Insul. and Dielectric Phenomena, PA, 83CH1902-6, Oct. 16-20, 1983, pp.48-53.
- [4] Z. Li, R. Kuffel and E. Kuffel, Volt-time Characteristics in Air, SF₆/Air Mixture and N₂ for Coaxial Cylinder and Rod-sphere Gaps, IEEE Trans. on Electr. Insul. Vol.EI-21, No.2, pp.151-55, 1986.
- [5] T. Shimazaki, Flashover Characteristics and Surface Processes under Negative Impulse Voltage in Atmospheric Air, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol.27, No.3, 1992, pp.488-495.
- [6] S. Berger, Onset or Breakdown Voltage Reduction by Electrode Surface Roughness in Air and SF₆, IEEE Trans. on Power App. and Sys., Vol.PAS-95, No.4, 1976, pp.1073-79.
- [7] A. Yializis, N.H. Malik, A.H. Qureshi, and E. Kuffel, Impulse Breakdown and Corona Characteristics for Rod-Plane Gaps in Mixtures of SF₆ and Nitrogen with Less Than 1% of SF₆ Content, IEEE Trans. on Power App. and Sys., Vol.PAS-98, No.5, 1979, pp.1832-1839.
- [8] E. Kuffel and A. Yializis, Impulse Breakdown of Positive and Negative Rod-Plane Gaps in SF₆-N₂ Mixtures, IEEE Trans. on Power App. and Sys., Vol.PAS-97, No.6, 1978, pp.2359-2366.
- [9] M. Honda, H. Okubo, H. Aoyagi and A. Inui, Impulse Breakdown Characteristics of Coated Electrodes in SF₆ Gas, IEEE, Trans. on Power Delivery, Vol.PWRD-2, No.3, 1987, pp.699-708.
- [10] L.G. Christophorou and L.A. Pinnaduwege, Basic Physics of Gaseous Dielectrics, IEEE Trans. on Electrical Insul., Vol. EI-25 No.1, pp.55-74, 1990.
- [11] T. Takuma, Discharge Characteristics of Gaseous Dielectrics, IEEE Trans. on Electr. Insul. Vol.EI-21, No.6, pp.855-867, 1986.
- [12] A. Pedersen, On The Electrical Breakdown of Gaseous Dielectrics, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol.EI-24, No.5, pp.721-739, 1989.
- [13] A.H. Cookson and B.O. Pedersen, Analysis of The High Voltage Breakdown Results for Mixtures of SF₆ with CO₂, N₂ and Air, 3rd Int. Symp. on HV Engineering, 31.10, Milan, 28-31 August 1979.
- [14] W. Voss, Discharge Development of Non-Uniform Gaps in SF₆-N₂ Gas Mixtures, 3rd Int. Symp. on HV Engineering, 31.13, Milan, 28-31 August 1979.
- [15] L.G. Christophorou and R.J. Van Braunt, SF₆/N₂ Mixtures-Basic and HV Insulation Properties, IEEE Trans. on Diel. and Electr. Insul., Vol.2, No.5, 1995, pp.952-1003.
- [16] N.H. Malik and A.H. Qureshi, A Review of Electrical Breakdown in Mixtures of SF₆ and Other Gases-Plane Gaps, IEEE Trans. on Electr. Insul, Vol EI-14 No 2, 1979, pp.61-69.
- [17] N.H. Malik, A.H. Qureshi, G.D. Theophilus, Static Field Breakdown of SF₆-N₂ Mixtures in Rod-Plane Gaps, IEEE Trans. Electrical Insul., Vol.EI-14, No.2, 1979, pp. 61-69.