

해안도달 거리에 따른 서해안 지역 염해 오손물의 분포특성

論 文

50C-6-4

The Distribution Characteristics of Salt Contaminants in West Coast Region with the Distance from Sea

崔南鎬* · 韓相玉**

(Choi Nam Ho · Han Sang Ok)

Abstract - This paper presents the result of a study on the distribution characteristics of salt contaminants in the west coast region, from Incheon to Yeosu, of South Korea. To evaluate the distribution characteristics of salt contaminants, we had measured the equivalent salt deposit density(ESDD) with brush wiping method for thirteen month(from May 1999 to June 2000). Under the consideration on the measuring interval and method, normalization method was applied for the ESDD data. Besides the measurement, the chemical analysis (chromatography) was carried to investigate the relationship, between the electrical property and the amount of specific ingredient, such as sodium, magnesium and chloride. From the result, we could get the representative value of contamination for each site and distribution characteristics of salt contaminants with the distance from sea in the west coast.

Key Words : ESDD, Normalization, Chromatography, Accumulation, Salt contamination

1. 서론

자연현상에 의한 송전선로 사고는 뇌격, 풍우, 병설해, 염진해 등으로 나뉜다. 이중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 뇌우 시에 발생하는 낙뢰로서 전체사고의 약 76%를 점유한다. 염진해 사고는 일반적으로 발생확률이 매우 낮은 것으로 알려져 있으며, 실제 국내의 경우 1994년에서 1998년의 기간을 통해, 1997년에 단 1회(연중 2.1%) 발생하였다. 그러나, 고유의 특성으로 인해 예상이나 대비가 무척 어려운 염진해 사고는 일반적으로 낙뢰에 비해 비교적 넓은 지역에 대해 영향을 미치며, 풍우 등의 요인에 비해 급격히 진전되어 수 시간 내에 넓은 지역에 걸친 사고를 유발시키기도 한다.[1]

한편, 염진해 오손등급은 각종 절연설계는 물론 송전선로의 구조적 특성에 큰 영향을 미치는 인자이다. 우리나라에 비해 염해의 정도가 심한 것으로 알려져 있는 일본은 송전선로건설을 위해 건설 전 3년간에 걸친 오손도 실측을 통해 해당 선로의 오손등급을 설정하고 이를 바탕으로 절연설계를 수행하고 있다. 국내의 경우도 유사한 방식을 이용하여 해당 지역의 오손등급을 설정한 후 각종의 설계 및 건설작업이 합리적으로 수행되도록 정하고 있다.[2]

반도 특유의 지리조건으로 인해 우리나라는 염분을 중심으로 한 오손에의 노출 위험이 크고, 기후적 측면에 있어서도 계절풍(몬순)과 동절기에 장기간 지속되는 건기의 영향, 여름철 내륙지역에 까지 많은 염분을 분포시키는 태풍 등과 같이 다양한 오손요인의 영향하에 있다.

사고사례 및 각종의 선행연구사례를 통해 알 수 있는 바와 같이, 오손물의 누적 자체는 절연물의 전기적 특성에는 큰 영향을 미치지 못하지만, 습윤의 조건이 형성될 경우 전기적 절연성을 크게 저하시키게 된다. 동절기의 건기는 다량의 누적 오손을 발생시키고, 봄철의 안개나 가랑비(drizzle) 등은 절연물을 습윤시키는 경향성을 지니고 있어 우리나라는 염해사고에 매우 취약한 기후특성을 지니고 있다. [3]

이상을 통해 살펴본 우리나라의 환경조건을 극복하고, 전력품질에 대한 안정성, 신뢰성 등과 같은 질적 요구를 충족시키기 위해서는 오손도에 대한 실측 및 통계처리를 통해 각 지역에 따른 오손등급을 설정하고, 각 해안별로 해안거리에 따른 오손등급을 설정하는 것이 무엇보다도 절실히 요구된다.

따라서 본 연구에서는 1999년 5월에서 2000년 6월의 13개월 여에 걸쳐 인천에서 여수에 이르는 서해안 지역의 염해 오손도(ESDD)를 측정하고, 적절한 통계처리 방법을 통해 서해안지역에 있어서 각 지역별 대표오손치를 도출하였으며, 해안 거리에 따른 염해 오손도의 분포특성을 제시하였다. 또한, 염해 오손물의 성분을 분석을 통하여 해안거리에 따른 오손성분의 분포특성을 제시하고 국외의 사례와의 비교분석

* 準 會 員 : 忠南大 電氣工學科 博士課程

** 正 會 員 : 忠南大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2000年 11月 17日

最終完了 : 2001年 4月 23日

을 수행하였다.

이상의 결과에 대한 고찰 및 오손도 측정자료와 기상 및 환경관련 수집자료의 연계분석을 통해 서해안 지역의 신규 선로의 설계나 기존 선로의 유지보수를 위한 기준 오손도 선정방법을 제시하였다.

2. 실험

2.1 측정설비

실제와 유사한 배치조건의 설정과 국내외의 선행 연구사례를 통해 얻은 측정데이터와의 비교검토를 위해 본 연구에서는 그림 1과 같이 254mm 자기애자 3개를 직렬로 연결하고 수직방향으로 설치한 측정설비를 이용하였다.

설치장소(전주, 철탑, 변전소)에 따라 설치방법은 다소 변형되었으나 전체적으로 그림 1에서와 같은 형상을 유지하였다.

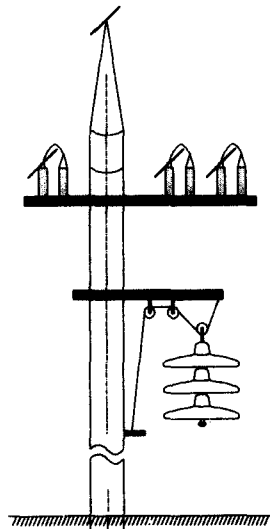


그림 1 등가염분부착밀도 측정설비 (전주)
Fig. 1 Equipment to measure the ESDD(Distribution pole)

2.2 측정방법

그림 1에서와 같이 수직방향으로 배치된 경우, 애자의 상면은 강우에 의해 직접적인 영향(우세효과)을 받게 되므로, 1개월을 측정 주기로서 애자의 하면을 세정하고 세정 전후의 전기전도도를 통해 ESDD를 산출하는 것이 가장 일반적인 염진해 오손도 측정방법이다.

본 연구에서는 애자 하면의 세정을 위해 전기전도도 2μS/cm 이하의 증류수 400 cc를 사용하였으며, 세정방법으로는 필세법(brush wiping method)을 적용하였다. 또한, 그림 2와 같이 온도에 따라 크기 변화가 큰 전기전도도 고유의 특성을 고려하여 측정시 수용액의 온도를 25 ± 1 [°C] 하여 온도에 따른 오차를 최소화하였다. [4-6]

254mm 자기재 현수애자 하면의 시멘트부분과 금구 부분을 제외한 전체 면적은 850cm²이며, 이중 중심부의 1주름을 제외한

800cm²만이 오손도 측정을 위한 세정에 사용되었다.

이상의 과정을 통해 얻어진 세정용액의 전기 전도도는 다음의 수식을 통해 등가염분부착밀도로 환산되었다.

$$ESDD = \frac{0.09 \times C \times V}{200 \times S} \text{ [mg/cm}^2\text{]} \quad (1)$$

where,

C is the volume conductivity of contaminated solution [μS/cm].

V is the volume of water, 400 [cc].

S is the area of washed surface, 800 [cm²].

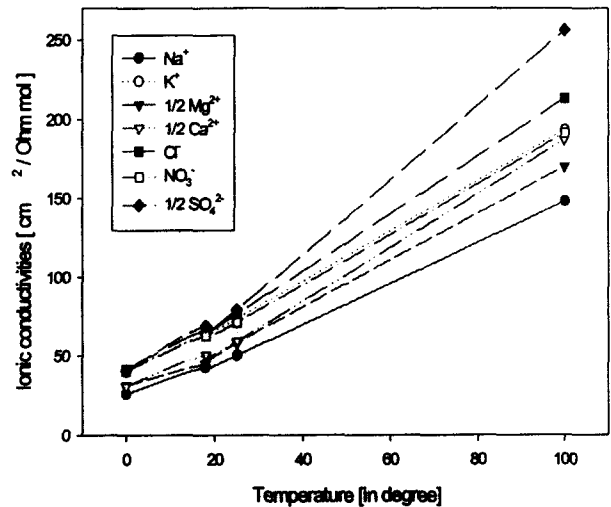


그림 2 완전 희석 수용액에서 온도에 따른 이온 전도도 [cm² Ω⁻¹ mol⁻¹]
Fig. 2 Ionic conductivities at infinite dilution in water with temperature [cm² Ω⁻¹ mol⁻¹]

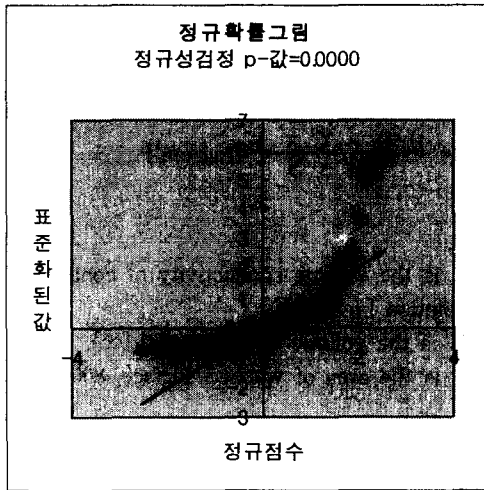
3. 결과 및 고찰

3.1 데이터 분포

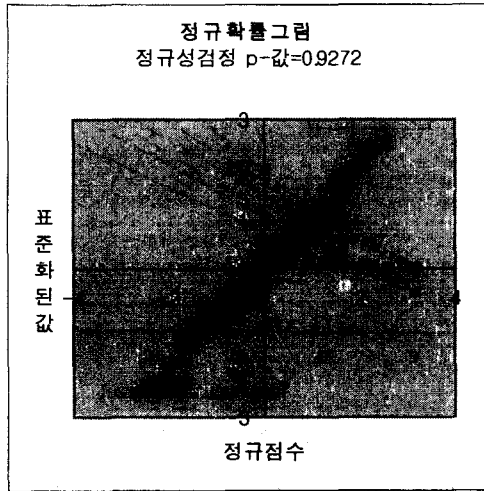
그림 3은 서해안 지역의 측정지점 중 해안도달거리 0.5km 이내 지점에서 측정된 데이터의 분포특성을 보이는 정규확률그림이다.

실측 ESDD값은 일반적으로 낮은 값이 발생할 확률이 매우 높은 특성을 지닌다. 즉, 그림 3 (a)과 같이 원시 ESDD 측정데이터는 표준정규분포 특성을 전혀 지니지 않으므로, 별도의 통계처리를 통해 특성의 신뢰도하에서 발생 가능한 오손도의 극치를 구하는 작업이 필요로 된다. 본 연구에서는 이와 같은 작업을 수행하기 위하여 국내외의 다양한 선행연구 사례에 대한 분석 및 통계처리방법에 대한 조사를 통해 normalization법을 최종 선정하였다.

데이터가 표준정규분포 특성을 지니는 경우, 특성의 신뢰도하에서의 극치를 산출하는 것은 매우 용이하다. 다음의 식은 정규분포 특성을 지니는 데이터에 대하여 평균(μ) 및 표준편차(σ)를 이용하여 특정 신뢰구간을 산출하는 방식을 보이고 있다.



(a) ESDD



(b) Log(ESDD)

그림 3 등가염분부착밀도 데이터의 분포특성
Fig. 3 Distribution characteristics of ESDD data

$$\begin{aligned}
 P(X < \mu + \sigma) &= 0.8415 \text{ (84.15\%)} \\
 P(X < \mu + 2\sigma) &= 0.9770 \text{ (97.70\%)} \\
 P(X < \mu + 3\sigma) &= 0.9985 \text{ (99.85\%)}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기에서 어떠한 수준의 신뢰도를 확보할 것인가는 해당 설비의 중요도나 경제적 측면의 반응을 통해 결정될 수 있는 문제이며, 약 95~99% 정도의 신뢰도를 부여하는 것이 일반적 경향이다.

배전분야에 대한 국내의 선행연구에서는 95%를 그 기준 신뢰도로 설정하였으나, 송전전압의 초고압화에 따라 무보수를 목표로 하고있는 송전분야에서는 99% 이상의 신뢰도를 적용하는 것이 적합한 것으로 보인다.

그림 4는 앞서 제시한 방법을 통하여 서해안에서의 해안도달거리별 오손물의 누적확률분포를 보이고 있다.

비교적 단기간(13개월)에 걸쳐 측정된 데이터만을 활용하여 전체적인 분포특성을 도출함에 있어 측정지점 및 데이터수의 부족으로 인해 일정 범위내의 전체 자료를 이용하여 그림 4와 같은 분포특성을 도출하였다.

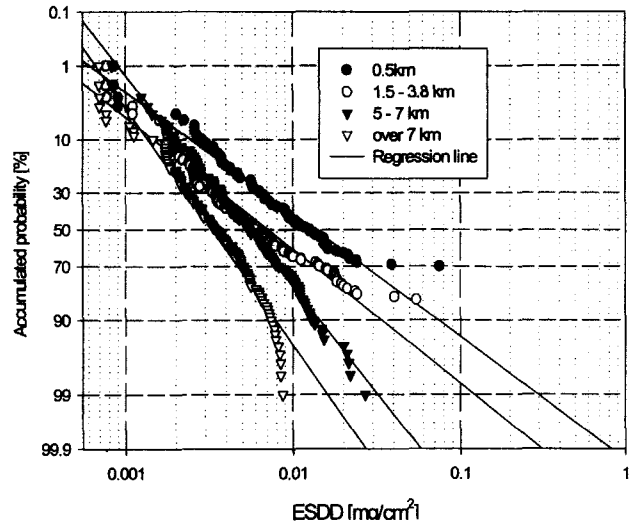


그림 4 해안도달거리별 염해 오손물의 누적확률분포(서해안)
Fig. 4 Distribution of accumulated probability of salt contaminants with the distance from sea coast (in West sea coast)

99.9%의 신뢰구간을 가정할 경우에는 해안도달거리 0.5km지점은 약 0.8 mg/cm²(E등급)의 ESDD값을 갖는 것으로 분석되었으며, 해안도달거리 1.5 - 3.8km인 경우에도 약 0.3 mg/cm²(D등급)의 중오손지역으로 구분되었다.

한편, 90%의 신뢰구간을 가정할 경우에는 해안도달거리 0.5km지점은 약 0.3 mg/cm²로 D등급으로 분석되었으며, 해안도달거리 1.5 - 3.8 km의 지점은 약 0.055 mg/cm²로 A등급으로 분류 가능하였으며, 동해안 지역의 경우에 비하여 해안도달거리에 따른 오손도가 비교적 완만히 감소하는 것으로 나타났다. (그림 5 참조)

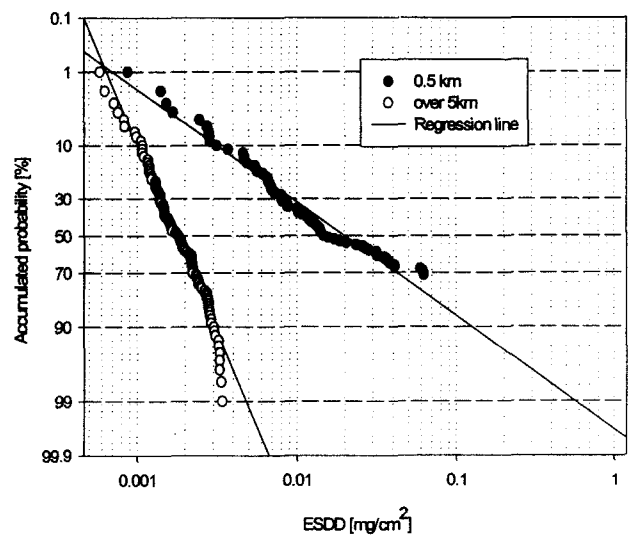


그림 4 해안도달거리별 염해 오손물의 누적확률분포(동해안)
Fig. 4 Distribution of accumulated probability of salt contaminants with the distance from sea coast (in East sea coast)

이러한 특성은 동해안에 비해 서해안은 해안선이 길고 경사가 비교적 완만하여 바람에 의한 염 오손물의 유입이 용이하지만, 동해안의 경우 서해안에 비해 해안선이 짧고 경사가 급한 지형적 특성으로 인해 발생하는 현상으로 보인다.

표 1은 그림 4와 같은 통계처리과정을 통해 얻어진 해안도달거리에 따른 염해 오손도 분포특성을 한국전력공사의 설계기준치와 비교하여 제시하고 있다.

표 1 해안도달거리에 따른 오손분포
Table 1 Distribution of contamination with the distance from sea

해안도달거리 [km]	통계처리치[mg/cm ²]		등급*	
	99%값	99.9%값	해안도달거리기준	99.9(99)%값 기준
0.5	0.3	0.8	D	E (D)
1.5 - 3.8	0.12	0.3	C(B)	D (B)
5 - 7	0.032	0.055	B	A (A)
7 -14	0.015	0.03	B(A)	A (청정)

※ 한국전력공사 송변전처 가공송전운영업무기준 참조

3.2 오손성분 분포특성

일반적인 경우 오손물질은 크게 불용성 오손물과 수용성 오손물로 구분하여 살펴볼 수 있다. 본 연구에서는 습윤시 전기전도도의 절연성능에 직접적인 영향을 미치는 수용성 오손물의 해안 거리별 분포에 대해 알아보았다.

표 2는 Ion chromatography를 이용하여 오손액이 함유하는 음이온간의 비율과 해안도달거리와의 관계를 보이고 있다.

표 2 해안도달거리에 따른 음이온 성분의 분포특성
Table 2 Distribution characteristics of anion with the distance from sea

Distance from sea [km]	Cl ⁻ [ppm]	SO ₄ ²⁻ [ppm]	rate
0.01	76.500	15.459	4.9 : 1
0.03	151.037	29.026	5.2 : 1
0.05	50.974	18.734	2.7 : 1
1.5	11.129	8.147	1.4 : 1
7.0	9.402	8.640	1.0 : 1
7.0	2.221	3.310	0.7 : 1

미국의 사례를 살펴보면 해안지역에서는 양이온 Na⁺, 음이온 Cl⁻가 가장 많이 검출되었고, 내륙지역에서는 양이온은 Ca²⁺, 음이온은 NO₃⁻, SO₄²⁻의 순으로 검출되었다. [3]

본 연구를 통해 분석된 결과를 통해서도 유사한 경향성이 발견되었으며 SO₄²⁻와 Cl⁻의 비율은 약 0.7:1에서 5:1까지 변

화하는 특성을 보였다. 이러한 경향성은 미국의 사례와 크게 다르지 않으므로, 자연 오손을 모의한 인공오손물의 제조나 이를 이용한 실험에 있어서는 국외(미국)의 사례를 적용하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

3.3 누적 오손특성

염해 오손물을 위시한 다양한 오손물의 누적량은 풍속의 세제곱에 비례하는 것으로 알려져 있고, 강우현상이 발생할 경우, 강우에 의한 세정효과(우세효과)로 오손량이 급격히 감소하는 경향성을 나타낸다. [3]

우리나라의 기후특성은 일본과 매우 다르다. 일반적으로 6 - 8월의 기간을 제외한 대부분의 기간은 우리나라는 일본에 비해 작은 강우량 및 강우횟수를 나타낸다.

일례로 2000년도 3월에서 5월에 걸친 봄철에 대해 우리나라와 일본의 1mm이상 강우횟수를 비교해 보면 기상청에 관측자료를 공시하는 전국의 70여 개소에 대한 3개월 강우횟수의 평균은 약 15회(15.05)이다. 반면, 일본의 경우 150여 개소에 대한 3개월 강우횟수의 평균치가 30회를 넘는 특성(31.19회)을 나타내고 있다.

이러한 특성은 실제 사고사례와도 밀접한 관련성을 지닌다. 송전선로에 있어서 1994 - 1998년간에는 단 1회의 염해 오손사고가 발생하였으며, 발생시기는 1997년 2월 25로 80여 일간의 건기 및 강풍을 통한 오손물의 누적과 사고당일 발생한 최적의 습윤조건(농무 및 안개비)으로 인해 약 30여 개소에 걸쳐 약 690여 개의 애자류가 피해를 입었다.

과거의 선행연구에서는 1개월 누적오손에 대한 장기간(3개월, 6개월) 누적오손 비율을 일본의 사례를 참고하여 1.19 ~ 1.27로 적용하였으나, 몇몇 실측 결과를 통해 약 6배 정도의 누적오손 비율이 도출되는 등 일본의 사례와는 확연히 구분되는 결과가 제시되고 있으며, 그에 대한 요인으로는 앞서 지적한 바와 같이 강우특성을 중심으로 한 기후특성이 지목되고 있다. [7-9]

표 3은 국내의 선행연구를 통해 측정된 장기간 누적 오손 특성을 보이고 있다. [7]

표 3 노출기간에 따른 오손물의 부착비율
Table 3 Deposition rate of contaminants with exposing time (rate to 1 month data)

대표값 \ 위치	시화		형도		영흥도	
	3개월	6개월	3개월	6개월	3개월	6개월
최소값	0.9	1.3	1.0	1.0	1.1	1.4
최대값	3.6	3.0	5.5	6.1	2.9	2.7
평균값	1.9	2.4	2.1	2.9	1.6	1.8
95 %	2.8	3.2	3.7	5.1	2.3	2.4

1개월 주기로 측정되는 오손도를 기준으로 설정된 각종의 오손 기준은 이상에서 밝힌바와 같은 누적오손특성을 고려하여 적절히 수정되어야만 하며, 무엇보다도 자세한 기상자료에 대한 검토와 장기간에 걸친 누적오손도 측정이 선행되어야 할 것이다.

4. 결 론

참 고 문 헌

본 연구에서는 13개월 여에 걸쳐 측정된 서해안 지역(인천~여수)의 오존도 데이터를 이용하여 해안거리에 따른 오존도 분포특성과 오존물의 성분분석을 통해 해안거리에 따른 오존성분의 분포특성을 제시하였다. 아울러, 각종 선행연구사례의 결과와 국내외의 기상자료 등을 이용하여 장기 누적오존특성을 고려한 기준오존도 선정의 당위성을 제기하였다.

1. 측정 데이터의 분포특성에 대한 고찰을 통해 적절한 통계처리 기법을 제시 및 적용함으로써 특정 신뢰조건 하에서의 합리적 기준 오존도 설정방법을 확립하였다.

2. 통계처리를 통해 지형적 요인으로 인해 서해안의 경우 동해안의 경우에 비해 해안도달거리의 증대에 따른 오존도감소가 보다 완만한 특성을 갖음을 알 수 있었으며, 전체적으로 해안인접 지역의 경우 기존 설계기준치와 비교적 잘 부합되는 결과가 도출되었으나 거리의 증대에 따라 점차 그 편차가 증대되어 가는 경향을 나타내었다.

3. Ion chromatography를 이용한 오존물의 성분분석을 통해 해안도달거리에 따른 음이온 성분의 분포특성을 도출하였으며, 국외의 연구사례와의 비교검토를 통해 그 타당성을 입증하였다.

4. 오존도 선정의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 측정주기를 다변화하여 누적오존특성을 분석하여야하며, 국외의 사례에 대한 고찰을 통해 국내에 적용하는데 있어서는 기상현상을 기본으로 다양한 환경차에 대한 면밀한 분석이 선행되어야 할 것이다.

- [1] “'97송전설비 고장분석 및 대책 - 송전선로 고장 사례 분석”, 한국전력공사 송변전처, pp. 85-97, 1998. 4.
- [2] “가공송전운영업무기준” 한국전력공사 송변전처, pp. 72-79, 1999. 3
- [3] “전력설비의 염진해대책에 관한 연구, 한국전력공사, pp. 7-58, 1988. 6.
- [4] Gray, D.E., Ed., "American Institute of Physics Handbook, McGraw-Hill, New York, 1972, 2-226
- [5] Robinson, R.A., and Stokes, R.H., "Electrolyte Solutions", Butterworths, London, 1959.
- [6] Lobo, V.M.M., and Quaresma, J.L., "Handbook of Electrolyte Solutions, Physical Science Data Series 41", Elsevier, Amsterdam, 1989.
- [7] “염진해 오존정도 및 기준정립에 관한 연구 - 2차년도 중간보고서”, 한국전력공사, pp. 3-4, 2000. 10.
- [8] 최남호, 박강식, 한상옥, “불용성 오존물에 의한 절연물의 전기적 특성에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회 하계학술대회 논문집, pp. 691-694, 2000. 7
- [9] 최남호, 박강식, 한상옥, “지리적 영향에 따른 염해 오존물질의 분포에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회 하계학술대회 논문집, pp. 695-698, 2000. 7

저 자 소 개



최 남 호 (崔 南 鎬)
1997년 충남대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
E-mail : crow@hanbat.cnu.ac.kr



한 상 옥 (韓 相 玉)
1974년 충남대 공업교육과(전기)졸업. 1986년 인하대 전기공학과 졸업(공학). 1985년 독일 하노버대 객원교수. 1989년 일본 나고야대 객원교수. 현 충남대 전기공학과 교수.

E-mail : sohan@hanbat.cnu.ac.kr