

특수 고장력전선을 사용한 장경간 가공송전선로 설계

Design of Long Span Overhead Transmission Line using Special High-tension Wire

나 상 용* · 지 평 식*

(Sang-Yong Na · Pyeong-Shik Ji)

Abstract - Recently, power demand has been increasing every year according to variation of electrical equipments and temperature rise in summer season. So, much more overhead line is being demanded to copy with increasing power demand and operate reliable power system. This paper analysis the characteristics of long span overhead transmission line using special high-tension wire in such as a safety factor, coefficient of elasticity, and the coefficient of linear expansion. Based on the analysis, we proposed the effectiveness of special high-tension wire having much more advantages with respect to height of steel tower and dip compared with conventional ACSR in long span overhead transmission line.

Key Words : ACSR, Dip, SW, EST, TS, EDS

1. 서 론

최근 전력사용 패턴의 변화와 여름철 온도상승으로 인한 냉방기 등의 사용증가로 인하여 매년 전력수요는 증가하고 있다. 이러한 수요에 대처함과 동시에 경제적이고 효율적인 전력계통의 운용을 위하여 추가적인 송전선로 건설이 요구되고 있다. 송전망을 통해 공급되는 전기 공급은 안정적이고 경제적으로 이루어질 수 있도록 구축되어야 한다. 그러나 송전선로 건설은 장거리에 걸쳐 다수의 경과지를 필요로 하지만, 민원문제로 인하여 경과지 확보에 어려움을 겪고 있다. 또한, 바다, 강, 호수 등을 횡단하는 장경간 횡단선로인 경우 표준경간을 초과하므로 이를 고려한 설계방법이 제시될 필요성이 있다[1, 2].

기존의 표준철탑을 사용하여 장경간 가공송전선로 공사를 진행할 경우, 철탑높이가 증가되며, 표준 애자장치를 적용할 수 없다는 문제점이 있다. 이외에도 바람에 의한 전선횡진시 및 수평선간 거리의 증가로 인하여 표준철탑을 적용하는데 문제점을 가지고 있다. 따라서 장경간 가공송전선로에 적용할 수 있는 철탑 및 철탑기초, 애자장치, 고장력 전선의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 장경간 가공송전선로 설계시 특수 고장력 전선을 적용하여 최대사용장력 증가로 인한 안전을 확보 및 탄성계수, 선팽창계수 등의 특성을 분석한다. 이러한 분석결과를 토대로 기존 가공송전선에 비해 이도의 감소로 철탑의 높이가 축소되고 이에 따라 공사비의 절감 및 공사기간 단

축을 도모할 수 있어 특수 고장력전선 적용의 타당성을 제시하고자 한다.

2. 가공송전선로

2.1 장경간 가공송전선로의 기준

가공송전용 철탑 설계기준(DS-1111)에 의하면 가공송전선로의 장경간 개소는 표준경간에 150[m]를 가산한 값을 초과하는 개소로 규정하고 있다[1]. 표 1은 우리나라에 건설되어 있는 154[kV], 345[kV], 765[kV] 초고압 가공송전선로의 표준경간 및 장경간의 기준을 나타낸 것이다[1].

표 1 표준경간 및 장경간 규정

Table 1 Regulation for Standard and long span

구 분	표준경간	장경간
154[kV]	400[m]	550[m] 이상
345[kV]	450[m]	600[m] 이상
765[kV]	550[m]	700[m] 이상

2.2 장경간 가공송전선로의 기준

일반적으로 국내의 154[kV] 및 345[kV] 가공송전선로는 그림 1에 나타낸 강심알루미늄연선(ACSR : Aluminum Conductors Steel Reinforced)을 사용하고 있다. ACSR의 강심 소선(SW)의 강도(Tensile Strength)는 130[kgf/mm²]이며 경간의 길이가 매우 긴 경우에는 전선안전율을 확보할 수 없다. 장경간이나 특수 장소에 사용하는 고장력 가공송전선 구조는 그림 2와 같으며 고장력 전선의 강심소선(EST) 강도(Tensile Strength)는 180[kgf/mm²] 이상의 특수 고장력강선을 사용한다.

국내의 154[kV] 및 345[kV] 가공송전선로 중 1,000[m] 이상

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Korea Nat'l Univ. of Transportation, Korea

E-mail : psji@ut.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Korea Nat'l Univ. of Transportation, Korea

접수일자 : 2016년 7월 29일

수정일자 : 2016년 8월 22일

최종완료 : 2016년 8월 25일

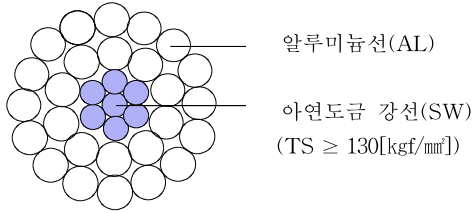


그림 1 강심알루미늄 연선
Fig. 1 ACSR (Aluminum Conductors Steel Reinforced)

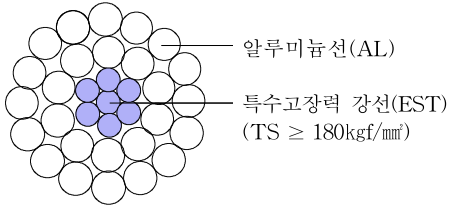


그림 2 특수 고장력전선
Fig. 2 Special high-tension conductor

의 장경간 개소에 사용된 고장력 전선은 전선 제조사에서 일부 주문제작 생산하고 있다. 특수고장력 전선의 각 계수를 이용하여 가공송전선에 사용될 경우 고장력 전선의 기계적, 전기적 특성을 일반전선(ACSR)과 비교하여 나타내면 표 2와 같다[3]. 표 2에서 보는 바와 같이 고장력 전선은 전선의 경, 전선단면적, 단위중량은 다소 증가하나 최소인장하중, 탄성계수는 대폭 증가하고 선팽창계수는 감소하는 등 제 요소가 우수하여 장경간 가공송전선으로는 적절할 것으로 분석되었다.

표 2 고장력 전선의 기계적, 전기적 특성
Table 2 Properties of high-tension conductor

구분	단위	일반전선 (ACSR)				고장력 전선			
		330mm ²	410mm ²	480mm ² R	480mm ² C	330mm ²	400mm ²	480mm ²	520mm ²
전선외경	mm	25.30	28.50	29.61	30.42	28.35	31.50	29.61	31.50
전선단면적	mm ²	379.64	480.75	517.38	547.31	475.37	586.89	517.3	586.86
단위중량	kg/m	1.320	1.673	1.599	1.836	2.069	2.533	1.605	1.985
최소인장하중	kgf	10,930	13,890	11,800	15,340	27,090	41,670	18,760	26,310
탄성계수	kgf/m ²	8,346	8,359	7,253	7,987	11,020	11,020	7,440	7,000
선팽창계수	10 ⁻⁶ /°C	18.97	18.95	20.84	19.53	16.20	16.2	20.9	19.3
풍력계수	착설	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95

2.3 가공송전선의 이도

철탑의 전선지지점(현수클램프 또는 내장 압축인류클램프)의 안전율은 어떠한 최악의 기상조건에서도 2.5 이상을 유지하여야 한다. 가공송전선용 이도 설계기준(DS-1211)에서는 최소인장하중의 40%이하를 만족시키기 위해서 안전율을 약 2.8 정도로 적용하여 최악조건에서도 지지점 장력이 전선의 안전율 2.5이상을 만족하도록 적용한다[2]. 예를 들어

고온계(10[°C], wind, no sleet), 저온계(-5[°C], wind, sleet), 최저기온(-20[°C], no wind, no sleet), 최고기온(40[°C], no wind, no sleet), EDS(평균기온 10[°C], no wind, no sleet), 지상고 검토조건(75[°C], no wind, no sleet) 뿐만 아니라 1년 365일, 어떠한 기상조건하에서도 항상 전선의 안전율은 2.5 이상을 유지하도록 하여 가설된 전선의 장력은 최대사용장력을 넘지 않아야 한다. 그러나 어떠한 기상조건을 적용하여 최악조건을 계산하여도 고온계 또는 저온계의 하중조건이 최악조건이 된다. 이도 및 장력 설계는 그림 3과 같은 순서에 의해 계산되어진다.

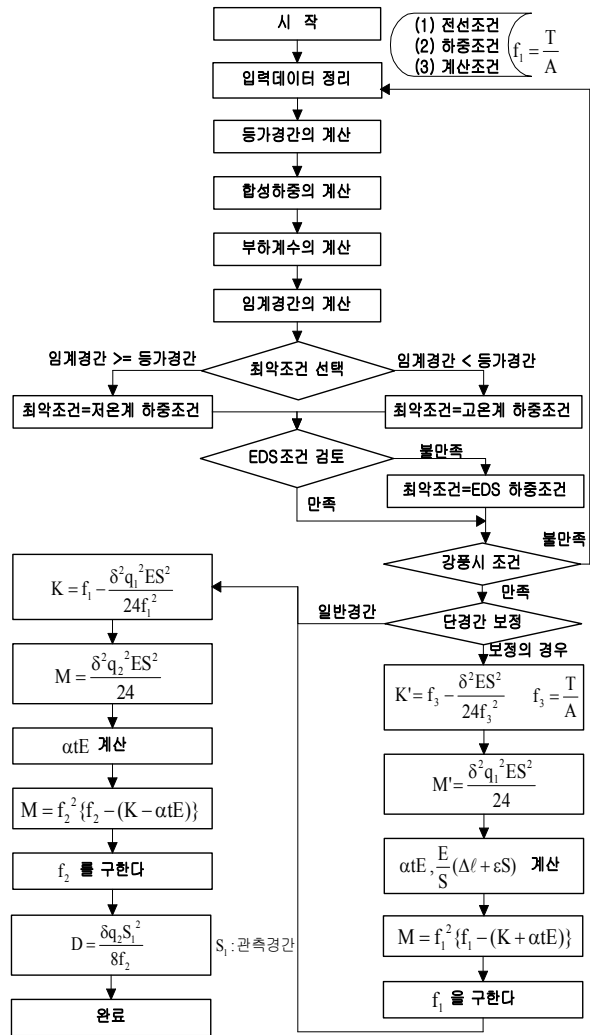


그림 3 이도 및 장력 설계 흐름도
Fig. 3 Design flow chart for dip and tension

지상고 검토시 일반전선의 경우 전선온도를 75°C를 적용하였으며 전선온도인 75°C는 설계기준-1210(가공송전용 전선 선정기준)의 연속 허용전류의 약 80%의 전선온도를 기준으로 하여 내열전선은 110°C, 초내열 전선은 150°C로 결정하며, 이를 기준으로 ACSR 410[mm²]와 고장력 전선 400[mm²]의 154[kV] 장경간 이도(Dip)를 비교하여 표 3에 나타냈다. 표 3에서 보는 바와 같이 ACSR 전선은 고장력 전선에 비해 이도가 매우 커서 지상고 확보를 위하여 철탑높이를 높게

하여야 하나 고장력 전선을 사용할 경우 평균 이도를 약 54.4[%] 감소하게 되므로 장경간에서 ACSR 전선의 문제점을 해소할 수 있다. 표 4에서는 ACSR 480[mm²](Rail)와 고장력 전선 520[mm²]의 345[kV]의 장경간 이도(Dip)를 비교하여 나타냈다. 표 4에서 보는 바와 같이 고장력 전선 520[mm²] 적용하면 ACSR에 비해 평균 이도 감소율이 34.4[%]가 되는 것을 알 수 있다.

표 3 ACSR 410[mm²]와 고장력 전선 400[mm²]의 장경간 이도 비교 (no wind, no sleet, 75[°C])

Table 3 Comparison of dip between ACSR 410[mm²] and high-tension wires 400[mm²]

경간 [m]	ACSR 410[mm ²] → 고장력 전선 400[mm ²]			
	ACSR [m]	고장력 전선 [m]	이도차이 [m]	감소율 [%]
400	13.98	6.87	7.11	50.9
500	21.18	10.25	10.93	51.6
600	29.95	14.26	15.69	52.4
700	40.32	18.91	21.41	53.1
800	52.30	24.20	28.10	53.7
900	65.90	30.16	35.74	54.2
1,000	81.15	36.77	44.38	54.7
1,100	98.05	44.06	53.99	55.1
1,200	116.60	52.02	64.58	55.4
1,300	136.90	60.86	76.04	55.5
1,400	158.90	70.41	88.49	55.7
1,500	182.60	80.67	101.93	55.8
1,600	208.10	91.56	116.54	56.0
1,700	235.30	103.30	132.00	56.1
1,800	264.40	115.80	148.60	56.2

2.4 철탑 높이

장경간 철탑의 높이 검토조건은 지상고 25[m] (75[°C], no wind, no sleet), 장경간 철탑의 상부 높이는 154[kV] 31.0[m], 345[kV] 38.0[m]로 하였다[1]. 철탑의 높이를 계산할 경우 식 (1)에 의하여 계산할 수 있다.

$$H_T = D_L + H_1 \tag{1}$$

식 (1)에서 H_T 는 지지점 철탑높이[m], D_L 은 지지점의 이도[m], H_1 은 지상고[m]이다. 이도 비교를 나타낸 표 3과 표 4 그리고 지상고 25[m]를 식 (1)에 대입 계산하여 경간 800[m]부터 1,800[m]까지 11개의 경간을 가정, 154[kV] 철탑 높이는 표 5에 345[kV] 철탑높이는 표 6과 같이 나타내었다.

2.5 애자장치 하중

직접접지방식의 전력계통에서 발생하는 상용주파단시간과 전압인 상시의 계통조작 또는 선로고장 시 발생하는 단시간

표 4 ACSR 480[mm²](Rail)와 고장력 전선 520[mm²]의 장경간 이도 비교 (no wind, no sleet, 75[°C])

Table 4 Comparison of dip between 480[mm²](Rail) and high-tension wires 520[mm²]

경간 [m]	ACSR 480[mm ²](Rail) → 고장력 전선 520[mm ²]			
	ACSR [m]	고장력 전선 [m]	이도차이 [m]	감소율 [%]
400	16.54	9.26	4.54	32.9
500	25.14	13.80	7.06	33.8
600	35.64	19.23	10.21	34.7
700	48.06	25.90	13.69	34.6
800	62.43	33.59	17.71	34.5
900	78.78	42.30	22.31	34.5
1,000	97.12	52.03	27.48	34.6
1,100	117.5	62.80	33.23	34.6
1,200	139.9	74.61	39.59	34.7
1,300	164.4	87.46	46.54	34.7
1,400	191.0	101.40	54.10	34.8
1,500	219.8	116.30	62.30	34.9
1,600	250.7	132.30	71.20	35.0
1,700	283.9	149.40	80.70	35.1
1,800	319.4	167.60	90.90	35.2

표 5 154[kV]에 사용되는 철탑 규정

Table 5 Regulation for Tower used in 154[kV]

경간 [m]	ACSR 410[mm ²]		고장력 전선 400[mm ²]			
	Dip [m]	철탑높이[m]		Dip [m]	철탑높이 [m]	
		하단 Arm	탑정		하단 Arm	탑정
800	52.30	77	108	24.20	49	80
900	65.90	91	122	30.16	55	86
1,000	81.15	106	137	36.77	62	93
1,100	98.05	123	154	44.06	69	100
1,200	116.60	142	173	52.02	77	108
1,300	136.90	162	193	60.86	86	117
1,400	158.90	184	215	70.41	95	126
1,500	182.60	208	239	80.67	106	137
1,600	208.10	233	264	91.56	117	148
1,700	235.30	260	291	103.30	128	159
1,800	264.40	289	320	115.80	141	172

과전압과 차단기의 개폐 또는 송전선 지락사고 및 지락사고 차단 시 발생하는 Surge 과전압 등 개폐과전압인 내부이상 전압에 대하여 섬락이 일어나지 않도록 설계함을 원칙으로 하며, 직격뇌, 역섬락으로 인하여 송전선로 또는 변전소에 침입하는 뇌과전압 등 외부이상전압에 대하여 적절한 신뢰성을 유지해야 한다.

“가공송전용 애자장치 기준(DS-1310)” [5]에 규정하고 있는 애자장치의 기계적 강도 및 최대사용하중은 애자의 안전율 3.0, 가선금구의 안전율은 2.5를 기준으로 하고 있으며,

표 6 345[kV]에 사용되는 철탑 규정

Table 6 Regulation for Tower used in 345[kV]

경간 [m]	ACSR 480[mm] (Rail)			고장력 전선 520[mm]		
	Dip [m]	철탑높이 [m]		Dip [m]	철탑높이 [m]	
		하단 Arm	탑정		하단 Arm	탑정
800	62.43	87	125	33.59	59	97
900	78.78	104	142	42.30	67	105
1,000	97.12	122	160	52.03	77	115
1,100	117.5	143	181	62.80	88	126
1,200	139.9	165	203	74.61	100	138
1,300	164.4	189	227	87.46	112	150
1,400	191	216	254	101.40	126	164
1,500	219.8	245	283	116.30	141	179
1,600	250.7	276	314	132.30	157	195
1,700	283.9	309	347	149.40	174	212
1,800	319.4	344	382	167.60	193	231

에자련에 작용하는 기계적 하중은 수직하중과 수평하중이 있다. 수직하중은 에자련의 취부점에 작용하는 하중으로서 전선의 자중, 피빙하중이 있으며 수평하중은 에자련의 취부점에 작용하는 하중으로서 전선의 풍압, 전선장력의 수평분력 및 에자련에 대한 풍압이 있다. 표 7은 154[kV] 2련 현수애자장치 합성하중[kgf]을 나타낸 것이며, 경간이 800[m]를 초과하는 장경간이 되는 경우 합성하중은 5,200[kgf]을 초과하게 된다. 표 8은 345[kV] 2련 현수애자장치 합성하중[kgf]을 나타낸 것이며 경간이 900[m]를 초과하면 합성하중은 12,000[kgf]를 초과하게 된다[5].

현수 애자련의 취부점에 작용하는 수직하중 V 는 전선의 자중, 피빙하중, 애자련 중량의 합성하중으로 식 (2)와 같다.

$$V = n(W_w + W_i) \cdot S_m + nT \left(\frac{h_1}{S_1} + \frac{h_2}{S_2} \right) + I \quad (2)$$

현수애자련에 작용하는 수평하중 H 는 전선의 풍압, 전선장력의 수평분력 및 애자련에 대한 풍압의 합성하중으로 식 (3)과 같다.

$$H = nW_w S_m \cos^2 \frac{\theta}{2} + 2nT \sin \frac{\theta}{2} + I_w \quad (3)$$

식 (1) 및 식 (2)에서 V 는 수직하중[kgf], n 은 도체의 수, W_w 는 전선의 단위길이당 풍압하중[kgf], W_i 는 전선의 단위 길이당 피빙하중[kgf], S_m 은 수평하중경간[m], T 는 전선의 수평장력[kgf], h_1, h_2 는 지지점 양측의 고저차[m], S_1, S_2 는 지지점 양측의 경간[m], I 는 애자련의 중량[kg], H 는 수평하중[kgf], θ 는 선로 수평각[°], I_w 은 애자련 풍압하중[kgf]을 나타낸 것이다.

현수애자련에 작용하는 최대합성하중 G 는 수직하중과 수평하중의 벡터 합으로 식 (4)과 같다.

$$G = \sqrt{V^2 + H^2} \quad (4)$$

식 (4)에서 G 는 합성하중[kgf], V 는 수직하중[kgf], H 는 수평하중[kgf]을 나타낸 것이다.

표 7은 154[kV] 2련 현수애자장치 합성하중[kgf]을 나타낸 것이며, 표 8은 345[kV] 2련 현수애자장치 합성하중[kgf]을 나타낸 것이다.

표 7 154kV 2련 현수애자장치 합성하중

Table 7 Gross weight for 2 serial electrical suspension Insulator using in 154kV

경간 [m]	수 직 하 중[kgf]		수 평 하 중[kgf]		합 성 하 중[kgf]	
	고온계	저온계	고온계	저온계	고온계	저온계
400	1,489	1,957	2,338	1,645	2,771	2,557
500	1,823	2,409	2,877	2,034	3,406	3,153
600	2,158	2,860	3,416	2,423	4,041	3,748
700	2,493	3,312	3,956	2,812	4,676	4,344
800	2,827	3,764	4,495	3,200	5,310	4,940
900	3,162	4,215	5,035	3,589	5,945	5,536
1,000	3,496	4,667	5,574	3,978	6,580	6,132
1,100	3,831	5,119	6,113	4,367	7,215	6,728
1,200	4,166	5,570	6,653	4,756	7,849	7,324
1,300	4,500	6,022	7,192	5,144	8,484	7,920
1,400	4,835	6,474	7,732	5,533	9,119	8,516
1,500	5,169	6,925	8,271	5,922	9,754	9,112
1,600	5,504	7,377	8,810	6,311	10,388	9,708
1,700	5,839	7,829	9,350	6,700	11,023	10,304
1,800	6,173	8,280	9,889	7,088	11,658	10,900

표 8 345[kV] 2련 현수애자장치 합성하중

Table 8 Gross weight for 2 serial electrical suspension Insulator using in 345kV

경간 [m]	수 직 하 중[kgf]		수 평 하 중[kgf]		합 성 하 중[kgf]	
	고온계	저온계	고온계	저온계	고온계	저온계
400	3,234	4,200	4,853	3,396	5,832	5,401
500	3,873	5,081	5,967	4,195	7,114	6,589
600	4,513	5,963	7,080	4,993	8,396	7,777
700	5,152	6,844	8,193	5,792	9,679	8,966
800	5,792	7,725	9,307	6,591	10,962	10,155
900	6,432	8,606	10,420	7,390	12,245	11,344
1,000	7,071	9,488	11,533	8,189	13,528	12,533
1,100	7,711	10,369	12,647	8,988	14,812	13,722
1,200	8,350	11,250	13,760	9,787	16,096	14,911
1,300	8,990	12,131	14,873	10,586	17,379	16,101
1,400	9,630	13,013	15,987	11,385	18,663	17,290
1,500	10,269	13,894	17,100	12,184	19,947	18,479
1,600	10,909	14,775	18,213	12,983	21,230	19,669
1,700	11,548	15,656	19,327	13,782	22,514	20,858
1,800	12,188	16,538	20,440	14,580	23,798	22,047

2.6 경제성 분석

풍압설계 3지역, 철탍형 B2 type, 경간 1,500m의 경우 154kV 및 345kV 장경간에서의 ACSR 및 고장력 전선의 경제성을 철탍제작중량으로 비교하면 표 9와 같다.

표 9 철탍중량에 의한 경제성 비교

Table 9 Economic comparison of steel tower weight

전압	ACSR		고장력전선		감소율 (%)
	철탍높이 (m)	철탍중량 (ton)	철탍높이 (m)	철탍중량 (ton)	
154kV	208	125	106	67	46.4
345kV	245	240	141	140	41.7

3. 결 론

최근 건설되는 가공송전선로는 기피시설로 인식되어 민원이 발생되고 있어 대부분 산악지를 경과하고 있으나 불가피하게 바다, 강, 호수, 계곡 등을 횡단하게 되며 이 경우 장경간 송전선로가 발생하게 된다. 그러나 장경간의 길이가 너무 길게 되면 철탍높이의 대폭 증가, 전선안전율 미달, 애자장치 허용하중 초과, 전력선 상호 간 절연거리 부족 등 전기적, 기계적 성능을 확보할 수 없어 가공송전선로 설계기준을 적용할 수 없게 된다. 따라서, 본 연구에서는 장경간 송전선로 설계시 이도, 철탍높이 애자장치 하중을 획기적으로 저감할 수 있는 고장력 전선을 적용하여 제안 방법의 타당성을 제시하였으며, 실시설계시 현장특성을 적용하여 지지물, 전선, 절연 설계를 별도로 시행하여야 할 것으로 사료된다.

References

- [1] KEPCO, "For overhead transmission tower design standards", (DS-1111), 2013.
- [2] KEPCO, "For overhead transmission dip design standards", (DS-1211), 2013.
- [3] LS Cable, "High tension wires specifications review" 2013.
- [4] KEPCO, "Criteria for overhead power lines wires", (DS-1210), 2004.
- [5] KEPCO, "Insulators for overhead transmission device standards", (DS-1310), 2013.
- [6] KEPCO, "345kV North gyeongnam second quarter, T/L nakdong river crossing design technical review conducted", 2013.
- [7] KEPCO, "Yeosu geomundo # 1 to # 2 extra 19 places across the ocean tower equipment performance diagnostics, 2011.

저 자 소 개



나 상 용 (羅 相 龍)

2012년 한국교통대학교 전기공학과 석사과정 졸업(공학석사), 2014년 동대학원 박사과정 수료, 발송배전기술사, 현재 (주)태성종합기술 전무이사
E-mail : ddna40@daum.net



지 평 식 (池 平 植)

1994년 충북대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(공학석사), 1998년 동대학원 전기공학과 박사과정 졸업(공학박사), 현재 한국교통대학교 전기공학과 교수
E-mail : psji@ut.ac.kr