

지역별 장기 전력수요 예측

권영한 · 이상호 · 조인승 · 김재균 · 김창수
한국전기연구소

(Long-term Regional Electricity Demand Forecasting)

Kwon Young-Han, Rhee Chang-Ho, Jo In-Seung, Kim Je-Gyun, Kim Chang-Soo
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

Regional electricity demand forecasting is among the most important step for long-term investment and power supply planning. This study presents a regional electricity forecasting model for Korean power system. The model consists of three submodels, regional economy, regional electricity energy demand, and regional peak load submodels. A case study is presented.

서는 지역별 전국최대시 동시부하 및 최대부하 예측을 포함하고 있다. 지역구분은 11개의 서울, 부산, 각도별(이하 시도별로 약함)구분을 기준으로 하고 최대부하부문은 국내 전력계통구성과 부하분포를 고려하여 보다 세분하여 22개 부하지구별(이하 지구별로 약함)로 전망한다.

예측의 흐름은 먼저 전력수요에 관련된 경제지표의 예측을 위하여 전국 및 지역의 제반 경제지표에 의하여 지

I. 서론

최근들어 우리나라는 소득수준의 향상과 냉방기기 등 전기기기의 보급확대로 전력수요가 큰 폭으로 증가하고 있으며, 아울러 지역별 산업구조와 공업화의 차이에 의하여 지역별 전력수요 증가추세가 상이하게 나타나고 있다. 이러한 현상과 더불어 부하가 수도권 및 영남권에 편중된 관계로 이들 지역의 전원입지반 또한 가중되고 있으며 이는 앞으로의 전력계통 계획과 운용에 커다란 장애요인이 되고 있다.

지역별 전력수요예측은 발전, 송변전 등 전력설비의 확장계획이나 운용계획에 필수적이며 나아가 장기적인 대전력수송계획 또는 부하관리방안과도 밀접하게 관련되어 있다. 따라서 지역별 전력수요예측의 정확성은 이제 전력계통의 안정적 운용 뿐만 아니라 국민경제와 산업발전에 보다 큰 영향을 주게되었다.

그러나 아직 우리나라는 지역별 전력수요예측을 위한 체계적 방법이나 심지어 지역자료 조차 정비되지 않은 상태에 있다.

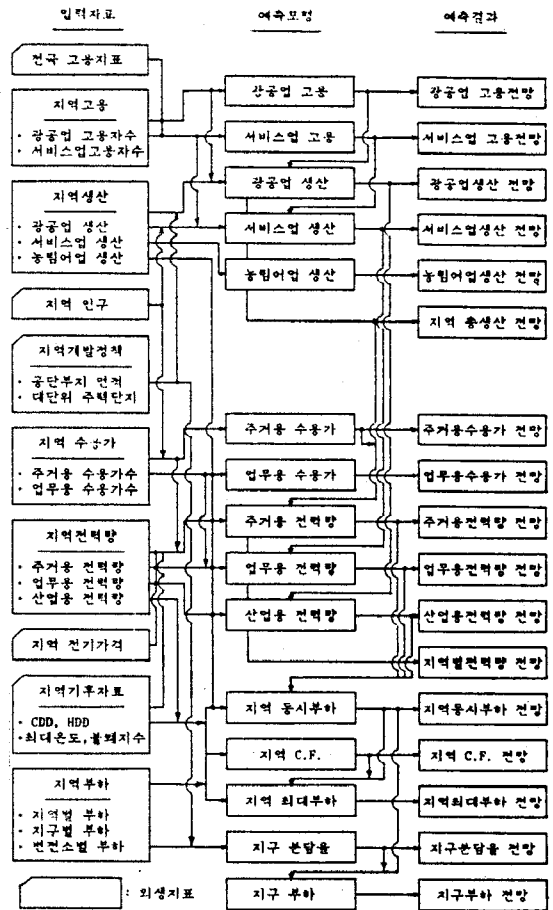
본 연구는 이러한 관점에서 우리실정에 부합되는 합리적이고 실용적인 예측기법의 개발을 위해 다양한 접근을 시도하였으며 현실적인 제약하에서 적용가능한 기법과 시산 결과를 제시한다.

II. 예측모형의 구성

1. 개요

본연구의 예측대상은 각 지역의 전력량과 최대부하이며 이를 위하여 3개의 부모모형으로 구성된다. 즉 지역경제모형에서는 산업별 부가가치 및 고용자수, 전력량부문에서는 수용부문별 전력량수요 및 수용가수, 그리고 부하부문에

(그림 1) 예측시스템의 개념도



역경제에 관한 예측이 수행되며, 여기서 생성된 지역경제 예측치가 전력량 부모형에서 지역별전력량을 예측하는 데 사용되고, 마지막으로 지역별 전력량수요와 지역경제예측치에 의해 지역별 최대부하가 예측되는 Top-Down형태이다

2. 시스템의 구성

예측모형은 지역경제지표, 각 지역별, 부문별 전력량, 최대부하를 일괄하여 예측하는 여러개의 부모형으로 구성되는 하나의 예측시스템을 이룬다. 시스템의 입력자료에서 최종예측결과 출력되는 정보의 흐름과 세부모형은 (그림 1)에 나타나 있다. 그림에서 좌측은 기본입력자료를 중앙부는 부문별 예측모형을, 그리고 우측은 예측결과를 보여준다. 각 모형과 입출력정보의 흐름은 그림의 화살표와 같이 연결되어 있다.

3. 회귀분석모형의 형태

이상의 모형의 구성요소에는 회귀분석모형과 시물레이션모형의 형태가 포함되어 있으나 특히 회귀분석모형이 주로 사용되었다. 우리나라와 같이 1개의 전력사업자만 있고 자료가기간이 짧은 경우 지역별로 나누어 회귀분석을 할 경우 통계적으로 유의성을 확보할 수 있는 충분한 자유도를 얻기가 힘들다. 따라서 이러한 경우에는 흔히 시계열자료와 횡단면자료(여기서는 지역)를 Pooling하여 사용한다.

이 경우, 본 연구에서 사용한 일반적인 회귀분석모형은 다음의 형태를 갖는다.

$$y = [1, X] \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} + u \quad (1)$$

여기서 종속변수벡터 $y = [y_1, y_2, \dots, y_p]'$ 로 구성되고 다시 $y_i = [y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}]'$ 의 형태를 가진다. 단 p 는 지역의 수이며, n 는 시계열자료의 기간이다. 또한 독립변수행렬 $X = [X_1, X_2, \dots, X_p]'$ 로 구성되고 지역별 독립변수행렬 X_i 는 다시,

$$X_i = \begin{bmatrix} X_{i1,2}, \dots, X_{i1,m}, \dots, X_{i1,q} \\ \dots \\ X_{in,2}, \dots, X_{in,m}, \dots, X_{in,q} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, p, \quad m = 2, \dots, q, \quad t = 1, \dots, n,$$

로 구성한다. 이때 m 는 독립변수의 수이며, α 는 스칼라, β 는 $[\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_q]'$ 인 벡터이다. 따라서 X 는 $pn \times (q-1)$ 행렬이고, y 는 $(pn \times 1)$ 벡터, i 는 $(pn \times 1)$ 인 단위벡터이다.

회귀분석에는 오차 u 의 가정에 따라 여러 방법으로 구해지나 본 연구와 같이 대량의 자료가 사용되는 실무형 모형에서는 OLS기법이 주로 사용된다. 이때 u 의 가정은¹⁾

$$u_{it} \sim iid(0, \sigma^2) \quad \text{for all } i, t$$

이다. 또한 지역별 차이를 보완하기 위하여 계수추정결과를 분석하여 필요시 가변수(Dummy Variable)을 사용한다.

1. 만약 $E(u_{it}, u_{jt}) \neq E(u_{it}, u_{is})$ 이면 GLS(Generalized Least Square)가 사용된다.

4. 지역경제 및 전력량 예측

가. 지역경제예측

지역경제예측은 목적에 따라 다양한 기법이 활용되고 있으나, 전력수요예측을 위한 보조모형의 형태에서는 비교적 간단한 모형이 사용된다. 본 연구에서는 지역별, 산업별 고용과 생산액을 전방하며, 고용자수의 예측을 위해 Shift-Share기법을, 그리고 생산부문에서는 계량경제기법을 사용하였으며 검증용으로 시계열기법의 하나인 VAR(Vector Autoregression)Model 기법도 함께 사용하였다. 특히 생산부문에서는 지역공단개발등과 같은 지역정책의 효과로 인한 장기적인 지역전력수요의 영향을 파악하기 위하여 공단배치계획 등을 모형에 포함시켰으며 지역인구 등과 같이 이미 예측전망치가 있는 지표는 본모형의 외생 전망치로 활용하였다.

1) 지역고용

Shift - Share 기법은 지역별 고용자수 예측에 주로 사용되는 기법으로 전제 고용의 변화와 과거 지역간의 고용자수 이동을 미래에 적용하는 것으로 지역별, 산업별 고용자수에 대한 과거 실적과 전국의 산업별 고용자수 전망 자료만 있으면 예측이 가능하다.

즉, 지역별 변동을 전국성장예 기인하는 부분(NS), 산업별성장예 기인하는 부분(IM) 및 지역간 Shift에 기인하는 부분(RS)로 나눈다. 여기서 t 년도의 k 산업분야 지역별 고용자수 $EM_{k,t}$ 의 예측식은 다음과 같다.

$$EM_{k,t+1} = NS_{k,t+1} + IM_{k,t+1} + RS_{k,t+1} \quad (3)$$

$$= EM_{k,t} (EM_{k,t+1}^* / EM_{k,t}^*) + RS_{k,t} \Big|_{t-1}^t$$

$$RS_{k,t} \Big|_{t-1}^t = EM_{k,t-1} \{ (EM_{k,t} / EM_{k,t-1}) - (EM_{k,t}^* / EM_{k,t-1}^*) \} \quad (4)$$

와 같으며 여기서, EM_k 는 k 산업의 지역별 고용자수, EM_k^* 는 k 산업의 전국고용자수, t 는 연도를 나타낸다.

2) 지역생산

생산부문에 사용된 계량경제기법은 지역경제를 변수들간의 상관관계로 부터 구조적으로 파악하는 방법이 널리 사용된다. 본 연구에서는 변수상호간의 관계를 한방향으로만 규정하는 foreward 체계를 설정하고 단일방정식 함수식들이 순차적으로 수행되면서 해를 구해가는 인과연쇄모델의 형태를 채택하였다.

특히, 이부문의 모형구성은 거시계량모형을 기초로 외국의 선행연구와 변수의 상관관계를 토대로 설정하였다. 각 산업별 생산, VA_k 는 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$VA_k = fV(EM_k, RK_k, PL_k, M_k, GRP_{-1}, POP, GNP) \quad (5)$$

단, 산업별 투자 $RK_k = f^R(RK_{k,-1}, VA_k, FA_k)$

노동생산성 $PL_k = (VA_k / EM_k)$

산업구조 $M_k = (VA_k / GRP)$

지역총생산 $GRP = \sum_k VA_k$

여기서 POP 는 지역인구, FA는 공단면적, 하첨자 -1 은 전기간 자료인 시차변수이다.

나. 지역별 전력량수요예측

지역별 전력량 수요는 지역경제부문의 지역경제 예측치와 지역별 전력관련자료, 인구 및 기후자료 등을 활용하여 수용가수예측과 전력량예측을 하였다. 여기에서 사용된 예측기법은 계량경제기법을 토대로 회귀분석모형을 구성하였다.

용도별 전력량 E_k 과 수용가수 C_k 예측에 사용된 회귀분석모형식은 다음과 같은 형태를 가진다.

$$E_k = f^E (E_{k,-1}, VA_k, EM_k, C_k, PE_k, CDD, GRP) \quad (6)$$

$$C_k = f^C (C_{k,-1}, VA_k, POP) \quad (7)$$

단, PE 는 전력가격, CDD는 냉방도일을 나타낸다.

5. 지역별 부하예측

지역별 부하예측은 전력량으로 부터 부하율추정을 통해 접근하는 방법과 경제, 기기보급율, 기후자료를 사용하여 직접 추정하는 방법 등이 있으나 본 연구에서는 용도별 전력량을 설명변수로 동시부하를 추정하고 별도 추정된 지역별 CF(Coincident Factor)를 사용하여 지역최대부하를 예측하였으며, 이와 아울러 보다 세분된 지구별 부하는 과거 부하실적과 공단개발계획등을 감안, 앞에서 구한 지역최대부하로 부터 구하였다.

이러한 방법은 지역경제활동의 거시적인 테두리속에서 지역 및 지구별 특성을 감안할 수 있다는 장점이 있으며, 따라서 중장기 예측에서 흔히 발생할 수 있는 예측오차에 대한 적절한 통제와 지구별 부하성장의 고려가 가능하다.

지구부하의 예측은 지구내의 변전소 부하실적 및 향후의 공단계획이나 대단위 택지개발을 감안하여 지역내의 지구별 부하분담율이 예측되고 이에 의해 지역별 부하예측치로 부터 지구별 최대부하가 구해지는 방식을 취한다.

가. 시도별 최대부하

지역부하의 추정 및 예측을 위해서는 지역전력량을 이용하는 방법과 지역경제지표를 직접 이용하는 방법의 두 가지가 가능하다. 전자는 수용가 부문별 전력량 수요로 부터 부하를 추정하므로 수용가의 특성 등을 잘 반영할 수 있다는 장점이 있으나 기기보급 등 전기이용에 관한 정보가 누락된 결점이 있다. 한편 지역경제지표의 이용시는 전반적인 지역경제수준 이 지역의 부하 크기를 결정해 주므로 거시적이고 장기적인 예측에 유용하다.

각 도의 전국최대시 동시부하 LPC는, 먼저 전력량 수요자료(주거용 E_R , 업무용 E_C , 산업용 E_I)를 이용한 모형은

$$LPC = f^L (E_R, E_C, E_I, t) \quad (8)$$

로 구성되며, 경제 및 냉방기기보급율(AC), 기후자료에 의한 모형은

$$LPC = f^L (LPC_{-1}, VA_{mf}, GRP, THI, AC) \quad (9)$$

으로 구성된다. 단, THI는 최대부하 발생일의 불쾌지수이다. 아울러 최대부하를 기저부하와 기후민감부하로 분리하여 예측할 수도 있으나 지역별 부하예측에서는 자료취

득의 어려움이 따른다.

도별 최대부하 LP 의 예측을 위해서는 지역 CF θ_i 의 예측이 필요하며, 이는 과거실적을 활용, 별도 전망된다.

$$\theta_{i,t} = LPC_t / LP_t \quad (10)$$

$$\theta_{i,t+1} = \alpha_1 \theta_{i,t} + \alpha_2 \theta_{i,t-1} + \alpha_3 \theta_{i,t-3} \dots \quad (11)$$

$$LP_{i,t+1} = LPC_{i,t+1} / \theta_{i,t+1} \quad (12)$$

나. 지구별 부하예측

먼저 앞에서 구한 도별최대부하 LP 를 지구별최대부하, LA 로 바꾸기 위하여 다음의 변환이 필요하다.

$$[LA]_t = [D]_t [LP]_t \quad (13)$$

여기서 LA 는 지구수 m 일때 ($m \times 1$)벡터, LP 는 ($p \times 1$) 벡터, D 는 ($m \times p$) 부하분담율 행렬이다. 부하분담율은 기간에 따라 변화하므로 각 지역에 속한 지구별 부하의 별도예측이 필요하며, 이 때는 비교적 간단한 방법이 사용된다. 그리고 이 방법으로 구해진 각 지구별 부하의 합은 앞에서 구한 지역부하에 의해 제한을 받는다.

$$D_{ijt} = S_{ijt} / \sum_j S_{ijt} \quad (14)$$

여기서 S_{ijt} 는 i 도에 포함된 j 지구부분(이하 Δ 지구로 함)의 부하이며, S_{ijt} 의 예측을 위하여 다시,

$$S_{ijt} = S_{ijt}^I + S_{ijt}^R + S_{ijt}^G \quad (15)$$

로 부하성격별로 구분 예측한다. 여기서 S_{ijt} 는 공단지역 부하로서,

$$S_{ijt}^I = \sum_{k \in \Delta} [\delta_k (A_{kt} - A_{k,t-1}) \mu_{kt}] \quad (16)$$

로 표현되며, k 는 공단지역 index, A_{kt} 는 기존 공단부지, A_{kt}^* 는 가용공단부지, δ_k 는 k 지역의 부지포화율, μ_{kt} 는 t 기의 k 공단지역의 원단위 부하로서 별도 예측된다. S_{ijt}^R 는 집단주거지역과 같은 특수지역 부하이며, S_{ijt}^G 는 이러한 지역을 제외한일반부하이다. 이는,

$$S_{ijt}^G = S_{ijt,t-1}^G (1 + \beta_{ijt}) \quad (17)$$

로 예측하며, β_{ijt} 는 일반부하 증가율로서 최근 당해지역 성장율과 앞에서 구한 도별부하 성장율 β_i 와의 함수형태인 $\beta_{ijt} = f(\beta_i, \beta_{ijt,t-1}, \beta_{ijt,t-2}, \dots)$ 의 형태로 전망된다.

이렇게 하여 구해진 행렬 D 에 의하여 LA가 구해지고 다시 지구 CF θ_i 에 의하여 전국동시지구최대부하 LAC 가 구해진다. 끝으로 총 전국동시 지구최대부하는 기 예측된 시스템 부하 LPC 와 같도록 보정한다.

$$LAC_{jt} = \theta_{jt} LA_{jt} \quad (18)$$

$$\sum_j LAC_{jt} = L_t \quad (19)$$

III. 예측시산 및 분석

1. 회귀분석모형식의 추정

앞에서 언급한 회귀분석 모형에 대한 변수선택과 추정된 회귀계수는 다음과 같다. (괄호내는 t 통계값)

가. 산업생산 (광공업 VA_{mr} , 서비스업 VA_{sv} , 농림어업 VA_{na})

$$\ln VA_{mr} = 0.94 + 0.831 \ln EM_{mr} + 0.073 \ln RK_{mr} + 0.658 \ln PL_{mr} + 0.016t \quad [R^2 = 0.991, D-W = 1.887]$$

(31.9) (2.42) (14.1) (4.08)

$$\ln VA_{sv} = 0.017 + 0.044 \ln EM_{sv} + 0.93 \ln GRP_{-1} + 0.041 \ln POP + 0.85 \ln IM_{sv,-1} \quad [R^2 = 0.997, D-W = 2.042]$$

(2.06) (35.6) (2.32) (21.2)

$$\ln VA_{na} = 0.195 + 0.97 \ln VA_{na,-1} + 0.894 \ln AGNP_{na} - 0.04 \ln DR1 \quad [R^2 = 0.993, D-W = 1.752]$$

(114.1) (12.45) (-1.71)

나. 용도별 전력수요(주거용 E_R , 업무용 E_C , 산업용 E_I)

$$\ln E_R = 0.75 \ln E_{R,-1} + 0.089 \ln CDD + 0.19 \ln GRP + 0.099 \ln C_R - 0.25 \ln PE_R \quad [R^2 = 0.998, D-W = 0.950]$$

(56.2) (5.25) (6.50) (3.16) (-8.20)

$$\ln E_C = 0.82 \ln E_{C,-1} + 0.163 \ln CDD - C_C + 0.073 \ln EM_{sv} - 0.11 \ln PE_C \quad [R^2 = 0.996, D-W = 2.258]$$

(24.1) (5.23) (2.04) (-3.30)

$$\ln E_I = 1.19 + 0.77 \ln E_{I,-1} + 0.18 \ln VA_{mr} - 0.17 \ln PE_I \quad [R^2 = 0.995, D-W = 1.730]$$

(9.05) (23.95) (8.09) (-4.58)

다. 지역부하

$$LPC = 0.27216 E_R + 0.21077 E_C + 0.11984 E_I \quad [R^2 = 0.995, D-W = 1.91]$$

(7.47) (8.16) (32.45)

또는,

$$LPC = 0.7676 E_{C,-1} + 0.0836 VA_{mr} + 0.0017145 TH1 - GRP \quad [R^2 = 0.994, D-W = 1.33]$$

(14.85) (6.86) (4.92)

2. 예측시산결과

위의 회귀분석 추정결과와 앞에서 언급한 지구별 최대부하 예측방식에 의하여 우리나라의 2001년 까지 전력량 및 최대부하 수요를 예측한 결과는 다음표와 같다.

(표 1) 총전력수요예측

단위 : GWh, %

년도	1988	1991	1996	2001	평균증가
서울	13074	16594	22278	28105	6.1
부산	6115	7443	9436	11394	4.9
경기	16577	21330	29952	39759	7.0
강원	3976	5172	6613	7927	5.5
충북	2857	3562	4769	6151	6.1
충남	3477	4507	6061	7734	6.3
전북	2369	3043	4104	5284	5.4
전남	4519	5958	8438	11129	7.2
경북	10365	13132	17338	21673	5.8
경남	10635	13383	18069	23247	6.2
제주	346	430	577	730	5.9
전국	74310	94555	127635	163132	6.2

(표 2) 지역별 최대부하

단위 : MW, %

년도	1988	1991	1996	2001	평균증가
서울	2739	3477	4725	6066	6.3
부산	1142	1393	1775	2175	5.1
경기	3071	3838	5346	7156	6.7
강원	603	769	1008	1234	5.7
충북	443	577	776	1013	6.6
충남	700	872	1149	1462	5.8
전북	397	535	724	940	6.9
전남	796	1054	1488	1978	7.3
경북	1684	2145	2810	3519	5.8
경남	1705	2084	2831	3687	6.1

(표 3) 지구별 최대부하

단위 : MW, %

년도	1988	1991	1996	2001	평균증가
강북	1391	1752	2349	3025	6.2
강남	1614	2099	2906	3763	6.7
인천	1295	1406	1869	2462	5.1
경기남부	1180	1623	2334	3156	7.9
경기북부	330	427	599	794	7.0
영서	110	157	227	285	7.6
영동	493	615	786	956	5.2
충북북부	418	538	714	930	6.3
충북남부	25	39	62	82	9.7
충남남부	492	592	810	1044	6.0
충남북부	208	279	335	413	5.4
전북	397	535	724	940	6.9
광주	260	369	514	663	7.5
여천	406	501	665	857	5.9
전남서부	166	222	365	535	9.4
대구	825	1086	1427	1836	6.3
구미	329	426	582	706	6.0
포항	466	574	718	856	4.8
경북북부	169	206	268	344	5.6
부산	1298	1608	2075	2594	5.5
울산	759	909	1200	1478	5.3
경남서부	790	960	1331	1794	6.5

IV. 결론

지금까지 이 분야의 연구실적이 거의 없고 예측에 필요한 방대한 양의 데이터 또한 정비되지 않은 상황에서 본 연구를 통해 지역데이터의 정비와 나아가 지역별 전력수요예측을 위한 새로운 접근과 예측이 이루어 짐으로서 지역별 전력수요예측을 위한 계기가 될 수 있을 것이다.

특히, 본 연구는 전력수요예측을 구조적으로 파악하기 위해 지역경제 및 향후 지역정책의 효과를 모델내에 포함 시키므로서 부하변화를 보다 거시적으로 전망할 수 있게 하였다.

또한, 지구별 부하예측에서는 기존의 추세변동과 정책적인 지역개발을 동시에 고려하므로써 보다 세분된 지구에 대한 예측이 가능하도록 구성되었다.

이러한 예측치들은 앞으로 각종 전력계획에 다양하게 활용될 수 있으며 나아가 지역특성을 감안한 부하관리방안이나 계통운영에도 폭넓게 활용될 수 있을 것이다.

그러나 이 분야의 연구는 아직도 많은 개선의 여지를 남기고 있다. 특히, 지역경제 및 부하관련자료의 체계적인 기록과 정비가 이루어져야 하며, 아울러 End-Use예측 모형 및 배전계획(CADPAD등)모형과 연계된 각 단계 부하예측을 통합화 하는 방안이 강구되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 金子敬生, "地域經濟の計量分析," 東京 ; 勁草書房, 1984, 8.
- [2] 電力中央研究所, "全國 9 地域 計量經濟モデルの開発 その 2," 製造業投資プロツクの定式化, 電力中央研究所報告: Y87018, 1988, 5.
- [3] Commonwealth Edison, "Peak Load and Output Forecasts : 1988-1997," 1987.
- [4] EPRI, "Design of Multiregional Economic Model for Forecasting Electricity Consumption and Peak Load," EA-2232, January 1982.
- [5] EPRI, "Research into Forecasting and Distribution Planning," EPRI, Report EL-1198, April, 1980
- [6] Gruben, W. C., " Forecasting the Texas Economy: Applications and Evaluation of a Systemic Multivariate Time Series Model," Economic Review, January 1986.
- [7] H.Lee Willis, " An Improved Method of Extrapolating Distribution System Load Growth," IEEE PAS-103, No 6, June 1984.
- [8] Hoffman K.C. and Wood D.O., " Energy System Modeling and Forecasting," Annual Review of Energy, Vol. 1, 1976
- [9] Mitchell B.M., " Selected Econometric Studies of the Demand for Electricity ; Review and Discussion," The Rand Corporation, November, 1975
- [10] Stevens, B.H. and C.L. Moore, "A Critical Review of the Literature on Shift-Share as a Forecasting Technique," Journal of Regional Science, Vol. 20, No. 4, 1980