

# 우리나라의 기후 변화 영향에 의한 건물 냉난방에너지 수요량 변화의 예측

김 지 혜, 김 의 종, 서 승 직\*  
인하대학교 대학원 건축공학과, \*인하대학교 건축학부 교수

## Prediction on Variation of Building Heating and Cooling Energy Demand According to the Climate Change Impacts in Korea

Ji-Hye Kim, Eui-Jong Kim, Seung-Jik Suh\*  
*Department of Architectural Engineering, Graduate School of Inha University, Incheon, Korea*  
*\*Professor, Department of Architectural Engineering, Inha University, Incheon, Korea*

**ABSTRACT:** The potential impacts of climate change on heating and cooling energy demand were investigated by means of transient building energy simulations and hourly weather data scenarios for Incheon. Future trends for the 21st century was assessed based on climate change scenarios with 7 global climate models(GCMs). We constructed hourly weather data from monthly temperatures and total incident solar radiation ( $W/m^2$ ) and then simulated heating and cooling load by Trnsys 16 for Incheon. For 2004-2080, the selected scenarios made by IPCC foresaw a 3.7-5.8 °C rise in mean annual air temperature. In 2004-2080, the annual cooling load for a apartment with internal heat gains increased by 75-165% while the heating load fell by 52-71%. Our analysis showed widely varying shifts in future energy demand depending on the season. Heating costs will significantly decrease whereas more expensive electrical energy will be needed of air conditioning during the summer.

**Key words:** Climate scenarios(기후 시나리오), Heating load(난방부하), Cooling load(냉방부하), Apartment(공동주택), Building energy demand(건물 에너지 수요량)

### 1. 서론

최근 전 세계적으로 예견치 못한 자연재해의 발생으로 인한 미래기후에 대한 관심과 우려가 증가되고 있다. 이와 함께 IPCC<sup>1)</sup>는 세 번째 평가 보고서를 통하여 1990년부터 2100년 사이에 지구 표면 온도가 1.4-5.8°C 상승할 것이라는 견해를 보였으며 다양한 기후의 출현과 극한의 기

후도 보다 빈번하게 나타날 것이라고 함께 예상하였다. 난방기는 감소하는 반면, 폭서, 집중 호우와 같은 극한 기후의 빈도, 강도, 지속기간이 상당히 증가한다는 예측이다.

이러한 기후 인자는 건물 설계에 중요한 경계 조건이다. 건물의 에너지 수요량은 외부 경계 조건, 특히 주변온도에 상당한 영향을 받는다. 기후 변화가 건물의 많은 측면에서 영향을 줄 것으로 예상하고 있다. 공동주택 성능등급 표시제도 등의 시행으로 현재보다 건물 수명이 늘어나는 추세에 있으며 대략 50-100년 이상의 수명이 예상

1) Intergovernmental Panel on Climate Change  
<http://www.ipcc.ch>.

된다. 이는 건물은 미래에 사용되어지는 것이기 때문에, 과거의 기상데이터가 아니라 미래 기후 변화를 반영한 기상데이터를 고려한 설계의 필요성이 요구되고 있다.

본 연구에서는 단위 공동주택을 모델로 건물의 지구 온난화의 영향에 따른 냉난방 에너지 수요량을 계산하여 온난화에 대비한 기초 자료를 구축하고자 한다. 우선, 7개의 세계 기후 모델을 이용한 기후 시나리오의 특징을 비교 분석하고, 기후 시나리오 데이터와 과거 데이터를 비교하였다. 그리고 시나리오에서 제시한 시간별 기온 데이터와 일사량 데이터를 이용하여 동적 열해석 프로그램인 Trnsys로 단위 공동주택의 과거 데이터와 시나리오 데이터에 따른 냉·난방부하를 계산하고 그 차이점을 비교 분석하였다.

## 2. 기후 시나리오

대기의 온실 가스 농도가 증가하면 지구 온도가 상승한다는 데는 의견을 같이하고 있지만, 지역적인 규모에서 기후가 어떻게 변화할 것인지를 판단, 추정하는 부분에 대해서는 아직 확실성이 많이 부족한 실정이다. 이러한 지역적인 규모에서 신뢰할 수 있는 미래 기후 변화 예측 방법이 아직 존재하지 않기 때문에, 이에 대한 대안의 방법으로 있음직한 미래 기후를 다양하게 지정하는 것이다. 이것이 “기후 시나리오”이다.

기후 시나리오는 온실 가스와 다른 오염 물질의 미래 방출량에 대한 가정과 이러한 가스들의 지구 기후 영향력에 대해 일관된 견해를 보이는 미래 기후에 대한 표현들이다. 기후 시나리오는 구체적인 가정이 주어진 수십 년, 수백 년 동안 미래가 어떻게 될 것인지에 관한 그럴듯한 표시이다. 이러한 가정들에는 긴 기간에 걸친 기후 시스템의 양상에 관한 가정뿐만 아니라 에너지 요구량, 온실 가스 방출량, 토지용도 변화에 대한 미래 경향이 포함된다.

### 2.1 시나리오 비교 분석

IPCC의 DDC<sup>2)</sup>에서 제공하는 기후 시나리오에는 IS92 시나리오와 IPCC SRES 시나리오가 있다. 두 기후 시나리오는 모두 대기와 해양을 연

결한 지구 기후 모델(GCMs)을 이용한 기후 변화 예측 시나리오이다. 그러나 그 목적과 GCMs를 선정하는 조건에는 차이가 있다.

Table. 1 Global Climate Models(GCMs).

GCMs	Specification
CCSR/NIES <sup>3)</sup>	Spectral Model Atmosphere : T21 Resolution (5.6 x 5.6°) 20 vertical levels Ocean : 2.8° horizontal grid 17 vertical levels
CGCM <sup>24)</sup>	Spectral Model Atmosphere : T32 Resolution (3.75x 3.75°) 10 vertical levels Ocean : GFDL MOM1.1 (1.8x 1.8°) 29 vertical levels
CSIRO-Mk2 <sup>5)</sup>	Spectral Model Atmosphere : R21 Resolution (5.6 x 3.2°) 9 vertical levels Ocean : R21 Resolution (5.6 x 3.2°) 21 vertical levels
ECHAM <sup>46)</sup>	Spectral Model Atmosphere : T42 Resolution (2.8 x 2.8°) 19 vertical levels Ocean : OPYC3 model
GFDL-R30 <sup>7)</sup>	Spectral Model Atmosphere : R15 Resolution (7.5 x 4.5°) 9 vertical levels Ocean : R21 Resolution (3.7 x 4.5°) 12 vertical levels
HadCM <sup>28)</sup>	Grid Box Model Grid 96 x 73 (3.75 x 2.5°)
NCAR-DOE <sup>9)</sup>	Spectral Model Atmosphere : R15 Resolution (7.5 x 4.5°) 9 vertical levels Ocean : 1 x 1°, 20 vertical levels

우선 IS92시나리오는 온실 가스 농도의 변화만을 고려하거나, 온실 가스와 황 에어로졸의 변화

- 3) The Japanese Centre for Climate System Research
- 4) The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
- 5) The Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
- 6) The German Climate Research Centre Spectral Model
- 7) The US Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
- 8) The UK Hadley Centre for Climate Prediction and Research
- 9) The National Centre for Atmospheric Research

2) Data Distribution Center

도 고려한 두 가지 실험을 모두 수행했다. IPCC TGICA<sup>10)</sup>는 과거 데이터의 고려, 공공기관 데이터의 통합, 문서화 여부를 고려하여 이를 만족하는 7개의 모델을 제시하였다.

IPCC SRES 시나리오는 시나리오에 최신 기술의 모델 실험을 반영하고 최근의 GCM 결과들을 지역사회에 이용 가능하도록 하기 위한 시나리오이다. 전 세계의 각 지역을 경제, 환경 친화, 전체성, 지역성에 따라 7개의 지역적 시나리오들을 제시한다. 3D 해양-대기 통합, 안정성을 위한 수세기동안의 제어작업 수행, 최소 T40, R30이나 3°위도/경도 그리드 사용, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>와 같은 명백한 온실 가스 고려 여부에 따라 IS92와 같은 7가지 모델이 제시되었다. Table. 1에 7가지 모델이 나타나있다.

## 2.2 시나리오 선정

위의 시나리오를 인천 지역에 맞는 조건을 찾아 선택하는 것은 중요한 문제이다. 우선 IS92와 SRES 시나리오 중에서 지역적인 규모를 고려한 SRES 시나리오를 선정하였다. SRES 시나리오는 Fig. 1 과 같이 지역을 크게 4가지로 분류하였다.

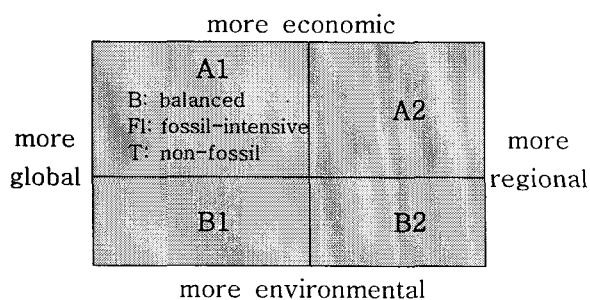


Fig. 1 Regional classification for SRES scenario.

각 지역의 특징에 따라 미래 온실 가스나 에어로졸의 방출량을 다르게 설정한다. 방출량의 차이는 결국 기후 변화에 차이를 일으킨다.

인천 지역은 환경적이기 보다는 경제적인 도시로, B 보다는 A에 적합한 곳이다. Table. 2와 같이 A1B와 A1T는 데이터가 한 개의 모델에서만

주어져있기 때문에 본 연구에 적합하지 않아 제외하였다. 미래의 인천 지역은 화석 연료만 사용하는 지역으로 보기 어렵기 때문에 최종적으로 A2지역으로 선정하였다. 예비 분석 결과 7가지 모델 중 과거 10년 데이터가 실제 데이터와 가장 유사한 CCSR/NIES, CSIRO-Mk2, ECHAM4에 대해 연구를 수행하였다.

Table. 2 Existing scenarios by IPCC

	A1B	A1T	A1FI	B1	A2	B2
CCSR/NIES	1	1	1	1	1	1
CGCM2	-	-	-	-	1	1
CSIRO-Mk2	-	-	1	1	1	1
ECHAM4	-	-	-	-	1	1
GFDL-R30	-	-	-	-	1	1
HadCM4	-	-	1	1	3	2
NCAR-DOE	-	-	-	-	1	1

SRES 시나리오는 1990-2100년에 지구 표면 온도가 약 1.4-5.8°C 상승할 것이라고 전망하였다. IS92시나리오가 1.0-3.5°C라고 예상한 것에 비하면 온도 상승폭도 커지고 예측범위도 넓어졌다.

## 2.3 기후 시나리오 데이터

Fig. 2는 1961-2005년의 실측 데이터와 세 가지 모델을 이용한 시나리오의 연평균 기온분포이다. 세 시나리오가 온도 상승 속도나 상승폭에 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 2080년의 연평균 기온은 CCSR/NIES는 2005년 대비 약 6.0°C, CSIRO-Mk2는 5.5°C, ECHAM4는 3.9°C 상승하였다. 상승폭은 CCSR/NIES가 가장 컸고, CSIRO-Mk2는 2020년까지 급격하게 변화하였다.

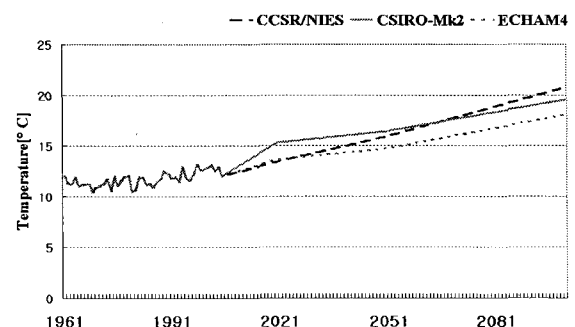


Fig. 2 Yearly mean temperature for three scenarios(1961-2100).

10) IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis

기후 시나리오는 각각 모델이 설정한 간격의 그리드별 월평균 기온 데이터와 일사량데이터 등을 제공한다. 그러나 본 연구에서는 Trnsys 16를 이용하여 시간별 데이터에 따른 난방부하를 산출하고자 한다. 그러므로 시간별 기온, 일사량 데이터가 필요하다. Trnsys 16 weather generator를 이용하여 월평균 데이터에서 시간별 데이터를 생성하였다.

### 3. 시뮬레이션 분석

#### 3.1 분석 대상

본 연구는 인천 지역의 남향인 일반적인 판상형 구조의 아파트 중 중형평형의 33평형 아파트를 대상으로 평가하였다. Fig. 3은 대상건물의 평면도이며, Table. 3은 건물의 단면 특성을 건물의 설계 도서를 기초로 조사하여 정리한 것이다.

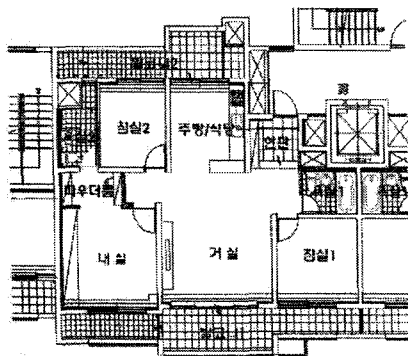


Fig. 3 Floor plan simulated.

Table. 3 K values of building components

		Transmission of Coefficient
Walls [W/m <sup>2</sup> K]	Wall	0.58
	Partition	0.47
	Roof	0.35
	Floor	0.41
Window [W/m <sup>2</sup> K]	Living Area	3.3
	Balcony Area	6.6

#### 3.2 시뮬레이션 분석

본 연구의 열적 성능 분석은 미 위스콘신 대학

의 SEL(Solar Energy Lab.)에서 개발한 동적 열부하해석 프로그램인 TRNSYS IISiBat 을 이용하여 분석하였으며 기상데이터는 인천 기상청에서 제공한 2004년 데이터와 기후 시나리오의 모델별 데이터를 시간별 데이터로 변형시킨 데이터이다. 시뮬레이션 입력 값은 Table. 4와 같다.

Table. 4 Simulation data

	Input Value
Heating set temp.	20°C
Cooling set temp.	26°C
Lighting	4 W/m <sup>2</sup>
Mechanics	12 W/m <sup>2</sup>
People	22.4 W/person

### 4. 결과 및 분석

#### 4.1 난방부하

단위 공동주택을 대상으로 한 동적 열부하 해석 결과, 세 가지 시나리오의 난방부하는 모두 지속적인 감소 경향을 보였다. Fig. 4와 같이, 총 난방부하는 2020년에는 평균 24,258[MJ], 2050년은 18,712[MJ], 2080년은 12,343[MJ]으로 2004년의 총 난방부하인 31,902 [MJ]에 비해 각각 76%, 59%, 39% 으로 감소하였다. 시나리오별 총 난방부하를 살펴보면, 2020년에는 세 시나리오의 결과가 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 그러나 시간이 지날수록 그 차이가 점점 감소하고 있다.

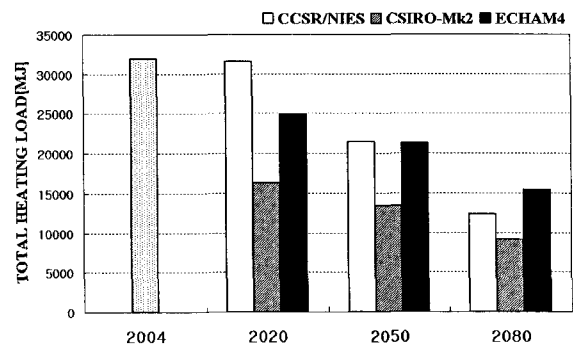


Fig. 4 Total heating load [MJ].

Fig. 5-7은 2004년 대비 2020년, 2050년, 2080년의 월별 난방부하이다. 2020년에는 중간기의

난방부하는 별 차이가 없으나, 11월-1월의 동절기에는 뚜렷하게 감소하였다.

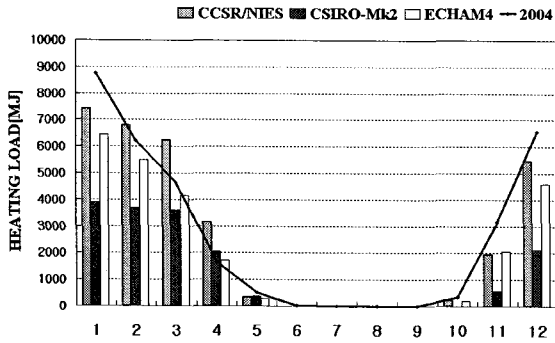


Fig. 5 Monthly heating load in 2020 [MJ].

Fig. 6에서 2050년에는 중간기에도 부하가 상당히 감소하였다. 난방기의 감소가 예상된다

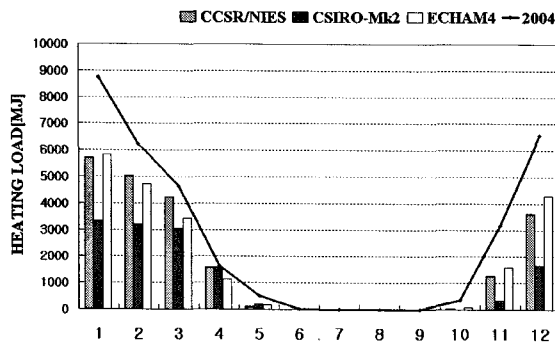


Fig. 6 Monthly heating load in 2050 [MJ].

Fig. 7의 2080년 월별 난방부하의 동절기에는 2004년의 30%로 큰 폭으로 감소하였다

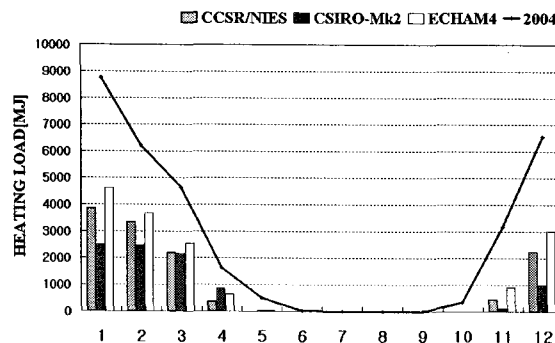


Fig. 7 Monthly heating load in 2080 [MJ].

#### 4.2 냉방부하

시뮬레이션 결과, Fig. 8과 같이, 총 냉방부하는 2020년에는 평균 13,416 [MJ], 2050년은 17,175 [MJ], 2080년은 24,190 [MJ]였다. 이는 2004년의 총 냉방부하인 10,391 [MJ]에 비해 각각 29%, 65%, 133% 증가하였다. 세 가지 시나리오의 냉방부하는 모두 지속적으로 증가하였고, 특히 2020-2050년에 증가폭이 크다는 것을 알 수 있다.

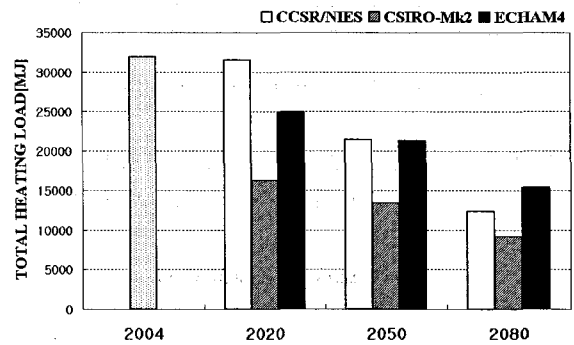


Fig. 8 Total cooling load [MJ].

Fig. 9-11은 2004년 대비 2020년, 2050년, 2080년의 월별 냉방부하이다. 2020년의 월별 냉방부하는 난방부하와 마찬가지로, 중간기에는 별 차이가 없으나, 7-8월에는 2004년 대비 26%나 증가한 것을 알 수 있다.

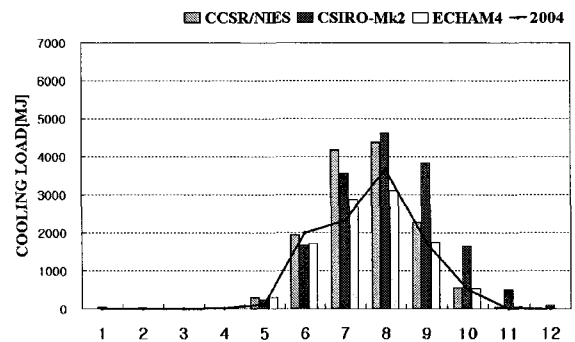


Fig. 9 Monthly cooling load in 2020 [MJ].

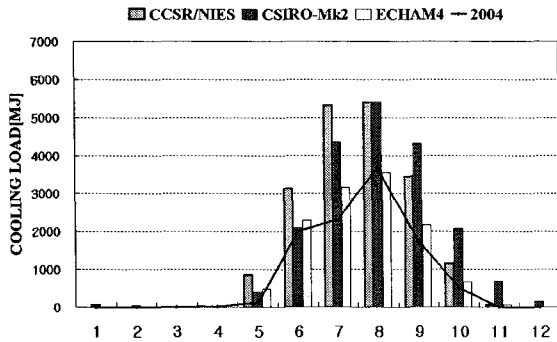


Fig. 10 Monthly cooling load in 2050 [MJ].

Fig. 11은 2080년의 월별 냉방부하이다. 2080년에는 하절기뿐만 아니라 중간기에도 냉방부하가 상당히 증가하여 냉방기가 크게 늘어날 것이다. 시나리오 모델 CCSR/NIES의 난방부하 감소량은 가장 적고, 냉방부하 증가량은 세 모델 중에서 가장 크다. 이는 CCSR/NIES 시나리오의 계절별 온도 편차가 상당히 크다는 것을 보여준다.

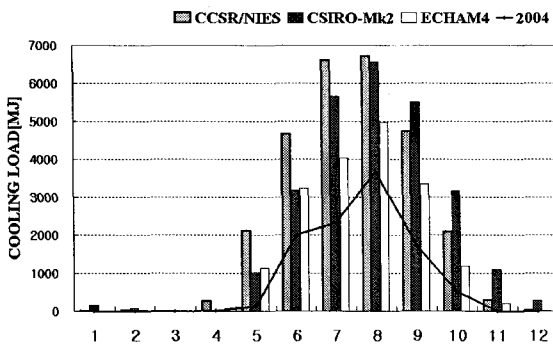


Fig. 11 Monthly cooling load in 2080 [MJ].

## 5. 결론

본 연구는 다양한 세계 기후 모델의 기후 예측 시나리오를 비교·분석하고, 시나리오에서 제공한 월평균 기온, 일사량 데이터 등을 이용하여 그에 따른 냉·난방 에너지의 차이를 시간별 일사량과 내부 발열을 고려한 동적 열부하 해석 프로그램인 Trnsys 16으로 평가하였다. 미래 에너지 수요량이 매우 크게 변화하고 있음을 알 수

있었다. 주요 내용 및 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) IPCC SRES 시나리오의 A2지역에 대한 세 가지 모델(CCSR/NIES, CSIRO-Mk2, ECHAM4)을 분석한 결과, 2080년 예상 연평균 온도는 2004년 연평균 온도에 비하여 5.8°C, 5.3°C, 3.7°C 상승할 것으로 예측되었다.
- (2) 총 난방부하는 2020년에는 평균 24,258 [MJ], 2050년은 18,712 [MJ], 2080년은 12,343 [MJ]으로 2004년의 총 난방부하에 비해 각각 76%, 59%, 39% 으로 감소하였다.
- (3) 총 냉방부하는 2020년에는 평균 13,416 [MJ], 2050년은 17,175 [MJ], 2080년은 24,190 [MJ]였다. 이는 2004년의 총 냉방부하인 10,391 [MJ]에 비해 각각 29%, 65%, 133% 증가하였다.

## 참고문헌

1. Viorel Badescu, Elena Zamfir, Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures (Romania). Energy Conversion Management 1999;40:885-900.
2. Th. Frank, Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. Energy and Buildings 2005;37:1175-85.
3. M. Christenson, H. Manz, D. Gyalistras, Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. Energy Conversion and Management 2006;47:671-86.
4. C. Cartalis, A. Synodinou, M. Proedrou, A. Tsangrassoulis, M. Santamouris, Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: An assessment for the southeast Mediterranean region. Energy Conversion Management 2001;42:1647-56.