

## 자외선 영역에서 별의 색지수와 온도의 상관관계

최영준<sup>1</sup> · 한원웅<sup>1</sup> · 강영운<sup>2</sup> · 이우백<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 표준과학연구원 천문대

<sup>2</sup> 세종대학교 지구과학과, 대양천문대

## THE STELLAR COLOR-TEMPERATURE RELATION IN ULTRAVIOLET REGION

Young-Jun Choi<sup>1</sup>, Wonyong Han<sup>1</sup>, Young Woon Kang<sup>2</sup>, and Woo-Baik Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Korea astronomy Observatory

e-mail: yjchoi@hanul.issa.re.kr, whan@hanul.issa.re.kr, wblee@hanul.issa.re.kr

<sup>2</sup> Daeyang Observatory, Department of Earth Science, Sejong University

e-mail: kangyw@astro.sejong.ac.kr

(Received November 5, 1998; Accepted November 16, 1998)

### 요 약

자외선 영역에서 별의 색지수와 유효온도와의 상관관계를 구하기 위해서 118개의 IUE (International Ultraviolet Explorer) 표준성에 대해서 유효온도와 자외선 영역에서의 색지수를 구하였다. 별의 유효온도는 IUE 저 분산 스펙트럼을 차등보정법을 이용하여 Kurucz 대기모델(1993)에 fitting하여 구하였고, 자외선 영역에서의 색지수는 2750 Å 과 2950 Å에서의 등급 차이로 정의하였다. Kurucz 대기모델(1993) fitting으로 구한 온도는 다른 논문(Malagnini & Morossi 1990, Malagnini *et al.* 1986)에서 구한 온도와 낮은 온도의 별을 제외하고 대체로 비슷하였으며, 자외선영역에서의 색지수와 유효온도의 상관관계 또한 Kurucz 대기모델에서의 결과와 비슷하게 나타났다.

### ABSTRACT

In order to derive the UV color - effective temperature relation, we calculated the effective temperature and ultraviolet color index for about 118 IUE standard stars. Using differential correction method, the effective temperature was obtained by the best fittings of IUE low-dispersion spectra to the Kurucz model (1993), and the UV color index was calculated from the magnitude differences of the UV wavelength between 2750 Å and 2950 Å. The temperature determined by the Kurucz model fittings was consistent with that obtained by other investigators (Malagnini & Morossi 1990, Malagnini *et al.*

1986), except for the low temperature stars. The relations between UV color - effective temperature also was similar to that in Kurucz model.

## 1. 서 론

별의 표면온도 결정을 위해 별의 실제 크기와 광도를 이용하는 직접적인 온도결정(Code *et al.* 1976; Underhill *et al.* 1979) 방법은 interferometer(Hanbury Brown *et al.* 1974) 또는 occultation(Ridgway *et al.* 1980)의 방법으로 별의 거리와 시직경을 알 수 있는 제한된 별에 대해서만 가능할 뿐이다. 보다 많은 별에 대한 온도를 결정하기 위해 Malagnini & Morossi (1983, 1990, 1997)와 Blackwell *et al.* (1990)은 항성대기모델을 이용하여 시직경을 추정하고 별의 전체 플럭스를 적분하여 얻은 광도로부터 별의 유효온도를 결정하는 방법을 개발하였다.

별의 유효온도와 색지수의 상관관계는 가시광선 영역에서는 Flower(1996)가 그 역사적 배경과 함께 구하였고, 근적외선 영역(Bessel *et al.* 1996) 에서도 그 상관관계가 알려져 있다. 또 Kang *et al.* (1998)은 IUE(International Ultraviolet Explorer) 천문위성으로 관측한 25개의 별에 대해서 자외선영역에서도 별의 온도와 색지수와의 상관관계가 있음을 보였다. 이 논문에서는 자외선영역에서의 색지수와 온도의 상관관계를 Kang *et al.* (1998)이 사용한 25개의 별보다 훨씬 많은 118개의 별을 선택하여 IUE가 관측한 스펙트럼의 연속선과 Kurucz의 항성대기모델과 비교하여 온도를 결정하였다.

## 2. 자료처리 및 모델계산방법

IUE 위성자료는 고분산과 저분산 자료로 구분되며, 저분산 자료는 세계 여러곳의 mirror site에서 제공되고 있으며, 우리 나라에서는 충북대학교 천문우주학과에 mirror site가 설치되어 있다. 이 자료는 새로운 calibration 기술을 이용한 NEWSIPS (NEW Spectral Image Processing System)으로 재처리되어 현재는 FITS (Flexible Image Transfer System) 형식으로 제공되고 있다.

온도를 결정하기 위해 먼저, 선택된 천체에 대하여 짧은 파장과 긴 파장의 자료를 읽어서 성간물질에 의한 적색화를 각각에 대해서 보정한 뒤, 두 스펙트럼을 합친다. 특히, 자외선 영역에서 성간물질에 의한 흡수를 보정하기 위해 Savage & Mathis (1979)가 우리은하에서 성간 물질 흡수의 평균값으로 제시한 모델을 사용하였다. 성간물질에 대한 보정과 스펙트럼의 합병에 관한 자세한 내용은 Kang *et al.* (1998)에 기술되어 있다.

한편, UV 영역에서 Kurucz(1993) CD version으로 발표한 대기모델의 파장간격은 10-15 Å이고, IUE 저분산 스펙트럼의 파장간격 1.6-2.7 Å이므로 IUE에서 관측된 플럭스를 차등보정법으로 fitting하기 위해서는 두 스펙트럼의 파장간격이 동일하여야 하므로, 이를 위해 Kurucz 대기모델의 파장간격으로 IUE 저분산 스펙트럼의 파장간격을 조정하였다. 또한, 각 파장에 대한 플럭스의 신뢰도가 일정하지 않기 때문에, IUE 관측자료에 수록된 flag의 값에 따라 가중치를 부여하였다. 이상과 같은 작업

HD79439

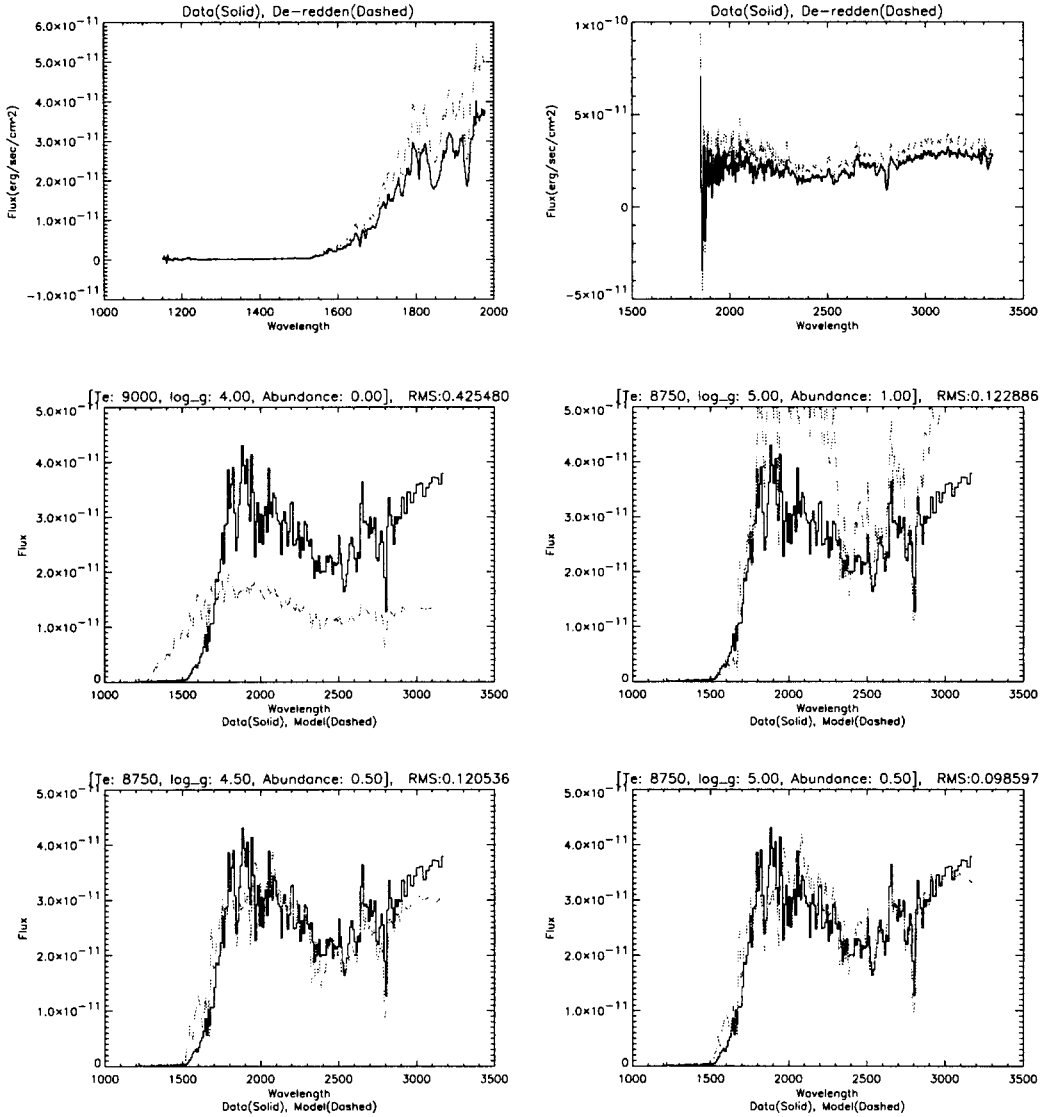


그림 1. 차등보정법으로 HD79439의 온도를 결정하는 과정. 맨 위의 2개의 그림은 성간적색화를 보정하는 과정(실선은 IUE 관측자료, 점선은 성간적색화가 보정된 스펙트럼)을 보여내고, 그 아래의 그림들은 Kurucz 모델로 fitting하는 과정(실선은 성간적색화를 보정하여 짧은 파장과 긴파장의 스펙트럼을 합병한 스펙트럼, 점선은 Kurucz 대기모델)을 보여준다. 대체로 4번 정도 반복하였을 때 수렴함을 알 수 있다.

HD40111

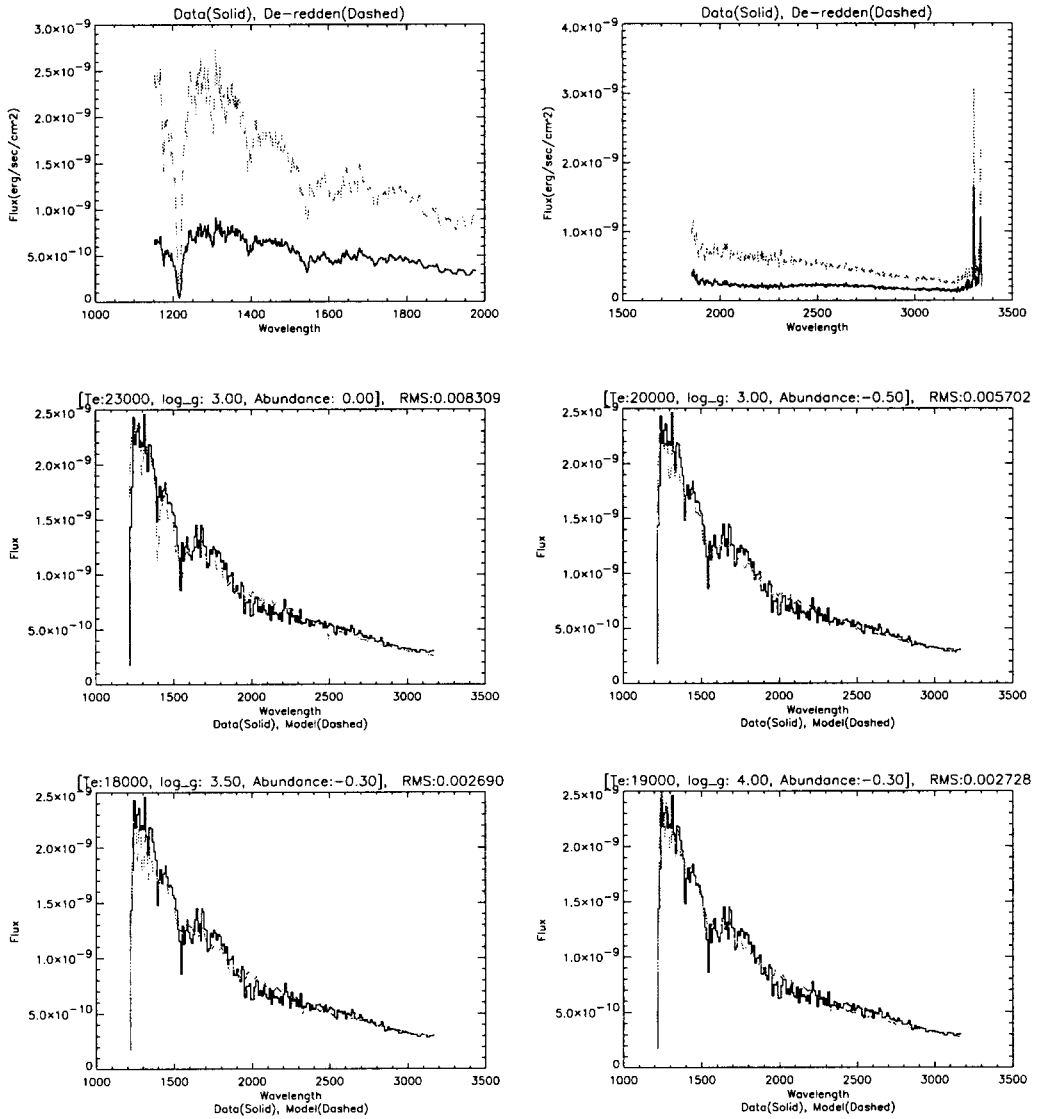


그림 2. 차등보정법으로 HD40111의 온도를 결정하는 과정(그림 1 과 동일)

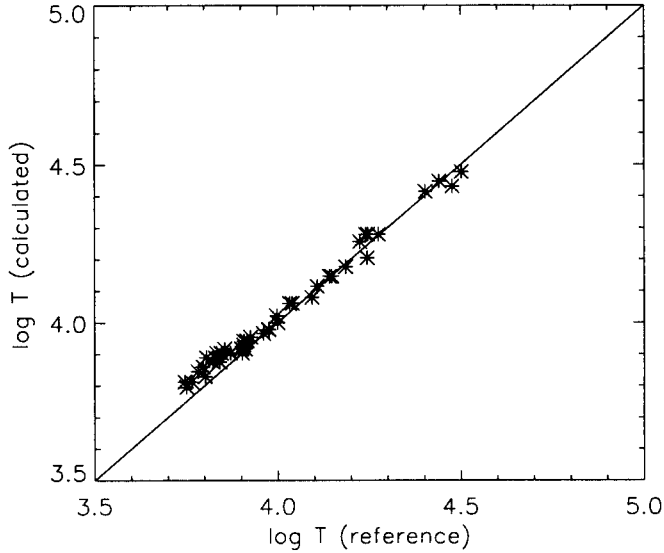


그림 3. 차등보정법으로 결정한 별의 유효온도(y 축)와 Malagnini *et al.* (1986), Malagnini & Morossi (1990)가 구한 유효온도의 비교.

들을 위해 IUE RDAF에서 제공한 소프트웨어가 있지만, 이 소프트웨어는 각각의 별에 대해서 한번에 하나씩 처리하는 루틴을 구성되어 있기 때문에, 연속적으로 이런 작업들을 처리할 수 있는 시스템을 구성하여 처리하였다.

Kurucz 대기모델은 입력인자로 유효온도, 중력(log g), 태양 화학성분비에 대한 log 비율 (log (Z/Z<sub>⊙</sub>)) 등을 가지므로, IUE 스펙트럼을 이들의 함수로 가정하면, 이론적인 대기모델로부터 나온 스펙트럼과 가장 잘 일치하는 인자를 찾기 위하여 다음과 같은 차등보정법을 이용하였다. 유효온도 (p1), 중력 (p2), 화학성분비 (p3)의 세 가지 인자에 해당하는 Kurucz 대기모델의 플럭스를  $f(Kurucz)$ 라 하고, IUE 표준성의 스펙트럼의 플럭스를  $f(IUE)$ 라고 하였을때, 이 플럭스의 차이(O-C)가 최소가 되는 때의 p1, p2, p3의 값을 결정하면 된다. 이것은 식 (1)과 같이 각각의 인자에 대한 편미분으로 나타낼수 있다.

$$O - C = f(IUE) - f(Kurucz) = \frac{\partial f}{\partial p_1} \delta p_1 + \frac{\partial f}{\partial p_2} \delta p_2 + \frac{\partial f}{\partial p_3} \delta p_3 \tag{1}$$

여기에서 (O-C)가 최소가 되도록 식 (2)를 최소자승법의 equation of condition으로 사용하여 각 인자의 보정값들( $\delta p_1, \delta p_2, \delta p_3$ )을 수치적으로 구한다.

$$\frac{\partial f}{\partial p} = \frac{f(p + \Delta p/2) - f(p - \Delta p/2)}{\Delta p} \quad (2)$$

그러나, 우리가 사용한 Kurucz 대기모델은 불연속적인 인자들을 가지는 모델이기 때문에 보정된 각각의 인자들의 가장 가까운 대기모델을 찾아서 그 플럭스를 식 (1)에 대입하여 각 인자의 값이 수렴할 때까지 반복계산하여 최종인자의 값을 결정한다. 그러므로 각 인자의 증가분( $\Delta p$ )은 Kurucz 대기모델에서 제공하는 인자들의 간격을 사용하여야 한다. 별의 유효온도와 중력의 초기값은 별의 분광형과 광도계급으로부터 결정하고, 화학성분비의 초기값은 모든 별에 대해서 태양과 동일한 것으로 가정하여, 이 초기값들에 가장 가까운 Kurucz 대기모델로부터 반복계산을 시작하였다. 그림 1 과 2 는 2개의 대표적인 별에 대해 성간적색화의 보정과 이 스펙트럼을 Kurucz 모델에 fitting하는 과정을 보여주고 있다. 대체적으로 4-5 번의 반복계산으로 최종인자 값에 수렴함을 알 수 있다.

한편 Kurucz 대기모델의 스펙트럼이 온도, 중력 그리고 화학성분비의 변화에 얼마나 영향을 받는지 살펴본 결과, 온도가 5000 K ~ 40000 K 인 영역에서 중력이나 화학성분비의 변화에 따른 플럭스의 변화가 미미함을 알 수 있었다. 이것은 fitting 과정에서 하나의 별에 대해 여러개의 중력이나 화학성분비 값을 가지는 대기모델이 존재할 가능성이 있음을 의미하기 때문에, 차등보정법으로 찾은 대기모델이 그 별의 광도계급과 매우 다르게 나타난 별에 대해서는 중력과 화학성분비 값을 고정시킨 후 온도를 결정하였다.

자외선 영역에서 별의 색지수는 성간적색화가 보정된 스펙트럼에서 서로 다른 두 파장대의 등급 차이로 나타낼 수 있는데, Kang et al., (1998)은 자외선 영역에서 2500Å에서 3100Å사이의 파장영역이 색지수를 산출하는데 가장 적합함을 보였다. 그래서 이 연구에서는 성간적색화가 보정된 IUE 표준성 스펙트럼에서 2650Å과 2950Å을 중심파장으로 하고 각각 300Å의 파장폭을 가지는 영역의 플럭스를 식 (3)과 같은 방법으로 색지수의 값을 구하였다.

$$m_{2650} - m_{2950} = (-2.5 \log F_{2650}) - (-2.5 \log F_{2950}) \quad (3)$$

### 3. 결과 및 토의

온도추정의 결과를 확인하기 위해 먼저 차등보정법을 사용하지 않고 Kurucz (1979) 모델 fitting으로 구한 온도가 수록되어 있는 Malagnini et al. (1986)과 Malagnini & Morossi (1990)의 연구결과로부터 IUE 관측자료가 있는 41개의 별에 대해서 차등보정법을 이용한 Kurucz 모델 fitting을 실시하고, 그 결과를 표 1 에 수록하였다. 그림 3 은 차등보정법으로 결정한 별의 유효온도와 위의 논문에서 수록된 온도를 비교한 것이다. 위의 두 논문에서 별의 온도를 결정하는 과정에 포함된 5-10%의 오차를 고려하면 매우 낮은 온도의 별들을 제외하고는 대체로 잘 맞는다고 할 수 있다.

표 1. 41개의 별에 대한 Kurucz fitting 결과

HD No.	분광형	광도계급	V mag.	(B-V)	E(B-V)	$T_{eff}(K)$	중력(log g)	$\log(Z/Z_{\odot})^*$
HD005448	A5	V	3.87	0.13	0.00	8750.	4.0	0.5
HD012311	F0	V	2.86	0.28	0.00	8000.	5.0	0.3
HD017081	B7	V	4.25	-0.14	0.00	13000.	4.0	-0.2
HD020630	G5	V	4.83	0.68	0.01	6500.	4.5	-0.1
HD022928	B5	III	3.01	-0.13	0.03	14000.	3.5	-0.3
HD032630	B3	V	3.17	-0.18	0.02	16000.	3.5	-0.5
HD034816	B0	IV	4.29	-0.26	0.02	28000.	4.5	0.3
HD038899	B9	IV	4.91	-0.07	0.00	11500.	4.5	0.0
HD058946	F0	V	4.18	0.32	0.00	8250.	4.5	0.1
HD061421	F5	IV	0.38	0.42	0.00	7500.	5.0	0.5
HD063922	B0	III	4.11	-0.18	0.12	27000.	4.0	0.2
HD076644	A7	IV	3.14	0.19	0.00	8000.	4.0	0.0
HD082328	F6	IV	3.17	0.46	0.00	6750.	4.5	-0.5
HD087696	A7	V	4.48	0.18	0.00	8500.	5.0	0.1
HD087901	B7	V	1.35	-0.11	0.02	12000.	3.5	-0.3
HD089025	F0	III	3.44	0.31	0.00	8000.	3.5	0.0
HD090994	B6	V	5.09	-0.14	0.00	14000.	4.0	-0.1
HD095418	A1	V	2.37	-0.02	0.00	9500.	3.5	-0.1
HD097603	A4	V	2.56	0.12	0.00	8750.	4.5	0.5
HD099028	F2	IV	3.94	0.41	0.04	7750.	4.0	0.0
HD102870	F8	V	3.61	0.55	0.02	7000.	4.0	-0.1
HD111812	G0	III	4.94	0.67	0.03	6500.	3.5	-0.1
HD116842	A5	V	4.01	0.16	0.01	8250.	4.0	-0.1
HD120315	B3	V	1.86	-0.19	0.01	18000.	4.0	-0.5
HD122408	A3	V	4.26	0.10	0.02	9000.	4.0	0.5
HD126660	F7	V	4.05	0.50	0.00	7250.	5.0	0.2
HD128167	F3	V	4.46	0.36	0.00	7500.	5.0	-0.1
HD144470	B1	V	3.96	-0.04	0.22	26000.	5.0	0.0
HD147394	B5	IV	3.89	-0.15	0.01	15000.	3.0	-0.5
HD157950	F3	V	4.54	0.39	0.00	8000.	4.5	-0.1
HD159561	A5	III	2.08	0.15	0.00	8250.	3.0	-0.1
HD161797	G5	IV	3.42	0.75	0.05	6250.	3.5	-0.1
HD168905	B2	V	5.25	-0.19	0.03	19000.	4.0	-0.2
HD173667	F6	V	4.19	0.46	0.00	7750.	4.0	0.1
HD177724	A0	V	2.99	0.01	0.02	9500.	4.0	-0.2
HD186882	B9	III	2.78	-0.03	0.02	10000.	3.0	-0.3
HD190993	B3	V	5.07	-0.18	0.02	19000.	4.5	-0.5
HD192685	B3	V	4.78	-0.18	0.02	19000.	4.0	-0.3
HD193432	B9	V	4.76	-0.05	0.00	10500.	4.0	-0.1
HD196867	B9	V	3.77	-0.06	0.01	11500.	3.5	-0.3
HD214680	O9	V	4.88	-0.20	0.11	30000.	3.5	0.5
HD216956	A3	V	1.16	0.09	0.01	9250.	4.5	0.5

$(Z/Z_{\odot})$  = heavy element abundance/Sun's heavy element abundance

표 2. IUE 표준성 118개에 대한 유효온도와 색지수값

HD No.	분광형	광도계급	V mag.	E(B-V)	m(2650-2950 Å)	$T_{eff}$ (K)	중력(log g)	log(Z/Z <sub>⊙</sub> )
HD47839	O7	V	4.65	0.07	-0.47215	35000	4.0	-0.1
HD167659	O7	II	7.39	0.53	-0.42460	31000	3.5	-0.1
HD203064	O7	III	5.00	0.30	-0.46226	35000	4.0	-0.1
HD14633	O8	V	7.46	0.09	-0.46430	29000	3.5	0.0
HD38666	O9	IV	5.17	0.02	-0.43374	35000	4.0	-0.1
HD188209	O9	I	5.65	0.20	-0.40424	26000	3.0	-0.1
HD36512	B0	V	4.62	0.04	-0.44161	25000	4.0	0.0
HD63922	B0	III	4.11	0.12	-0.44832	25000	4.0	0.0
HD204172	B0	I	5.94	0.16	-0.40189	23000	3.0	0.0
HD55857	B0	V	6.11	0.02	-0.41359	35000	4.0	0.1
HD34816	B0	IV	4.29	0.03	-0.44474	35000	4.0	-0.1
HD119159	B0	III	6.00	0.20	-0.40897	23000	4.0	0.0
HD64760	B0	I	4.24	0.08	-0.39811	24000	3.0	0.0
HD150898	B0	I	5.57	0.15	-0.36992	26000	3.0	-0.1
HD218376	B0	III	4.85	0.25	-0.39521	24000	4.0	0.0
HD31726	B1	V	6.15	0.05	-0.40319	29000	4.0	0.0
HD46328	B1	III	4.34	0.01	-0.37825	27000	4.0	0.1
HD40111	B1	I	4.82	0.13	-0.37434	25000	3.0	0.1
HD91316	B1	I	3.85	0.05	-0.33426	18000	2.5	-0.1
HD150168	B1	I	5.65	0.16	-0.30264	19000	3.5	-0.2
HD166197	B1	V	6.16	0.12	-0.40580	21000	4.5	-0.1
HD215733	B1	II	7.34	0.11	-0.35561	18000	3.0	0.1
HD74273	B1	V	5.90	0.04	-0.39384	23000	4.5	-0.5
HD62747	B1	II	5.62	0.06	-0.40249	22000	4.0	0.1
HD64802	B2	V	5.49	0.05	-0.35654	22000	4.0	0.0
HD165024	B2	I	3.66	0.08	-0.30300	18000	3.5	0.2
HD61831	B2	V	4.84	0.02	-0.31435	18000	4.0	-0.5
HD63465	B2	III	5.08	0.12	-0.33352	19000	4.0	-0.2
HD32630	B3	V	3.17	0.02	-0.30811	20000	4.0	0.0
HD120315	B3	V	1.86	0.01	-0.30586	22000	4.0	-0.1
HD190993	B3	V	5.07	0.02	-0.31134	19000	4.5	-0.5
HD42560	B3	IV	4.48	0.02	-0.28809	18000	4.0	-0.5
HD79447	B3	III	3.97	0.02	-0.31036	17000	3.5	-0.5
HD65904	B4	V	5.99	0.04	-0.30593	19000	4.0	0.0
HD202654	B4	IV	6.46	0.03	-0.23824	18000	4.0	-0.3
HD195986	B4	III	6.60	0.07	-0.28028	16000	4.0	-0.3
HD75112	B4	V	6.37	0.05	-0.26973	16000	3.5	-0.1
HD48879	B4	IV	5.14	0.01	-0.27333	16000	3.5	-0.3
HD34759	B5	V	5.23	0.01	-0.28485	16000	3.5	-0.5
HD188665	B5	V	5.14	0.03	-0.21510	15000	3.5	-0.2
HD147394	B5	IV	3.89	0.01	-0.26299	17000	3.5	0.0
HD4180	B5	III	4.54	0.09	-0.18369	15000	3.0	-0.3
HD83183	B5	II	4.08	0.13	-0.13843	14000	3.0	-0.3
HD86440	B5	I	3.54	0.01	-0.13168	13000	2.5	-0.2
HD164353	B5	I	3.97	0.11	-0.10373	14000	2.5	-0.3
HD209419	B5	III	5.78	0.05	-0.22726	14000	3.5	-0.3
HD90994	B6	V	5.09	0.00	-0.21301	14000	4.0	-0.2
HD182255	B6	III	5.18	0.02	-0.23968	14000	3.0	-0.5
HD125288	B6	I	4.33	0.19	-0.06069	13000	3.0	-0.3
HD29335	B7	V	5.31	0.02	-0.19153	14000	4.0	-0.3
HD23630	B7	III	2.87	0.03	-0.19032	12000	3.0	-0.5
HD23324	B8	V	5.64	0.04	-0.18039	14000	4.5	-0.2
HD10205	B8	IV	4.94	0.01	-0.14261	12500	3.5	-0.5
HD23850	B8	III	3.63	0.01	-0.11260	13000	3.5	-0.5
HD46769	B8	I	5.80	0.02	-0.12167	13000	2.5	0.0
HD222173	B8	V	4.29	0.01	-0.13288	12500	4.0	0.1
HD38899	B9	V	4.91	0.00	-0.09802	11500	4.5	0.0
HD196867	B9	IV	3.77	0.01	-0.13251	11500	3.5	-0.3
HD202850	B9	I	4.23	0.12	0.10738	11500	2.0	0.0
HD222661	B9	V	4.49	0.00	-0.11758	10500	4.0	-0.1
HD186882	B9	III	2.87	0.02	-0.04891	14000	3.5	0.0
HD26571	B9	III	8.09	0.27	-0.11877	12500	3.5	0.1
HD212593	B9	I	4.57	0.09	0.10179	11500	2.0	0.0



표 2. (계 속)

HD No.	분광형	광도계급	V mag.	E(B-V)	m(2650-2950 Å)	$T_{eff}(K)$	중력(log g)	log(Z/Z <sub>⊙</sub> )
HD95608	A0	V	4.42	0.06	0.10904	9000	4.0	0.0
HD103287	A0	V	2.44	0.01	-0.01040	9750	4.0	0.1
HD199629	A0	V	3.94	0.03	0.03374	10000	4.0	0.3
HD111775	A0	II	6.33	0.03	0.01176	10500	3.0	0.1
HD104035	A0	I	5.61	0.16	0.24922	9250	2.0	-0.2
HD166205	A1	V	4.36	0.00	0.06312	9500	4.5	0.1
HD197345	A2	I	1.25	0.04	0.37958	9250	2.5	0.1
HD216956	A3	V	1.16	0.01	0.17603	8750	3.5	0.5
HD122408	A3	III	4.26	0.01	0.16414	8750	3.5	0.1
HD210418	A3	V	3.53	0.00	0.06015	8500	4.5	-0.5
HD97603	A4	V	2.56	0.00	0.19651	8250	4.0	-0.1
HD116842	A5	III	4.01	0.01	0.26394	8000	3.0	-0.3
HD159561	A5	III	2.08	0.00	0.26406	8250	3.5	0.0
HD59612	A5	I	4.85	0.13	0.45662	8750	2.0	0.0
HD79439	A5	V	4.83	0.04	0.26879	8250	4.0	-0.1
HD28527	A6	V	4.78	0.00	0.33224	8250	4.0	-0.1
HD97534	A6	I	4.60	0.35	0.65300	8250	2.0	0.0
HD203280	A7	IV	2.44	0.00	0.38690	8250	4.0	0.0
HD27176	A8	V	5.65	0.01	0.43701	8250	4.0	0.1
HD36673	F0	I	2.58	0.06	0.53626	8000	2.0	0.1
HD113139	F2	V	4.93	0.01	0.58030	8000	3.5	0.0
HD99028	F2	IV	3.94	0.04	0.70910	8000	4.0	0.1
HD161471	F2	I	3.03	0.33	0.79007	8000	2.0	0.0
HD126306	F2	I	5.46	0.16	0.87718	7500	2.0	0.0
HD61421	F5	IV	0.38	0.00	0.75804	7750	4.0	-0.1
HD20902	F5	I	1.79	0.22	0.83914	7500	1.5	-0.1
HD106516	F5	V	6.11	0.01	0.56193	8000	5.0	0.3
HD82328	F6	IV	3.17	0.00	0.80777	7500	3.5	0.5
HD142860	F6	V	3.85	0.00	0.83371	7500	4.0	0.0
HD153597	F6	V	4.89	0.00	0.84471	7750	4.5	0.5
HD126660	F7	V	4.05	0.00	0.90346	7500	5.0	0.5
HD215648	F7	V	4.19	0.00	0.84379	7250	4.5	0.3
HD222368	F7	V	4.13	0.01	0.90316	7250	5.0	-0.3
HD102870	F8	V	3.61	0.02	1.09867	7250	5.0	0.5
HD54605	F8	I	1.86	0.10	1.14537	7000	1.5	-0.1
HD187691	F8	V	5.11	0.02	1.05469	7500	4.5	0.5
HD220657	F8	IV	4.40	0.08	0.97887	7750	4.0	0.5
HD27383	F8	V	6.88	0.00	0.84991	7750	4.0	0.3
HD90508	F9	V	6.44	0.04	0.97724	7250	5.0	0.5
HD142373	F9	V	4.62	0.00	0.88073	7000	4.5	0.3
HD150680	G0	IV	2.81	0.02	1.21470	6750	4.0	0.2
HD6903	G0	III	5.55	0.05	1.05267	6500	3.5	-0.1
HD111812	G0	III	4.94	0.03	1.04437	6500	3.5	-0.1
HD159181	G2	II	2.79	0.11	1.08767	6250	2.0	-0.1
HD209750	G2	I	2.96	0.10	1.34378	6250	1.5	-0.1
HD192876	G3	I	4.24	0.15	1.03589	6250	1.5	0.1
HD74006	G4	III	3.97	0.06	1.46810	6500	3.5	0.5
HD20630	G5	V	4.83	0.00	1.18801	6750	5.0	-0.2
HD161797	G5	IV	3.42	0.05	1.35052	6750	4.5	0.5
HD93497	G5	III	2.69	0.00	1.15439	7000	3.5	0.5
HD117176	G5	V	4.98	0.03	1.27778	6750	5.0	0.2
HD188512	G8	IV	3.71	0.04	1.48440	5750	3.5	-0.1
HD76294	G8	III	3.11	0.05	1.70900	6500	3.5	0.5
HD180711	G9	III	3.07	0.02	1.77237	5750	3.5	0.3
HD198149	K0	IV	3.43	0.01	1.62868	5250	4.0	0.1

표 3. 색지수에 대한 다항식의 계수

	주계열성		초거성	
	표준성	Kurucz 모델	표준성	Kurucz 모델
a	4.02	4.03	4.07	4.03
b	-0.60	-0.68	-0.39	-0.65
c	0.72	0.75	0.53	0.92
d	-0.27	-0.30	-0.91	-0.67
e			0.79	0.21
f			-0.25	-0.02

이러한 배경에서 Wu *et al.* (1983) 이 발표한 “The IUE Ultraviolet Spectral Atlas”에서 K 형 보다 만기형의 별과 색초과값이 음수인 별들을 제외한 118개의 별을 선정하여 이에 대한 유효온도와 색지수와의 상관관계를 구하였다. 이 118개의 별에 대한 등급과 색초과값, 그리고 Kurucz 대기모델 fitting으로 구한 온도 및 자외선 색지수를 표 2 에 수록하였다.

그림 4 와 5 에서는 118개의 별 중 주계열성과 초거성들의 유효온도와 색지수의 상관관계를 각각 보였다. 실선은 polynomial fitting의 결과를 나타내고, 파선은 주계열 또는 초거성에 해당하는 Kurucz 대기모델(Allen 1976)에서의 온도에 따른 색지수의 관계를 나타낸다. 그리고 그림 4 에서 점선은 Kang *et al.* (1998)이 구한 주계열성의 유효온도와 색지수의 상관관계를 나타낸다. 각각의 그림에 대한 상관관계를 아래의 다항식으로 표현하였으며, 그 계수들은 표 3 에 수록하였다.

$$\log T_{eff} = a + b CI + c (CI)^2 + d (CI)^3 + e (CI)^4 + f (CI)^5 \quad (4)$$

자외선 색지수와 온도의 상관관계는 주계열성과 초거성 모두에서 잘 나타났으나, 어느정도의 온도의 분산을 보였다. 초거성에서 이러한 온도의 분산이 비교적 크게 나타났는데 특히 고온의 별에서 가장 심하였다. 온도결정에 사용된 Kurucz 대기모델은 12,000 K 이하에서는 250 K 의 온도간격이 있고, 그 이상에서는 1,000 K 의 온도간격으로 구성되어 있기 때문에, 결정된 온도는 이런 정도의 오차를 포함하고 있지만, 우리가 구한 온도의 오차가 10% 이내이기 때문에 Kurucz 대기모델의 온도간격에 의한 오차는 크지 않다고 할 수 있다. 그러나, 앞에서 살펴본 것 처럼 Malagnini *et al.* (1986)과 Malagnini & Morossi (1990)가 구한 온도에도 5-10%의 오차가 있음을 고려한다면 우리가 구한 온도가 10% 내외의 오차를 가진다고 할 수 있을 것이다.

또, Malagnini & Morossi (1997)는 최근의 계산에서 130개의 별 중에서 25%가 중력이나 화학성분비, 또는 색초과값이 초기에 가정했던 값과 다르게 나타났다고 했으며, Michael *et al.* (1990)은 파장이 1900 Å - 3200 Å 에서의 스펙트럼들이 별의 화학성분비에 매우 영향을 많이 받음을 밝혔다. 이것으로 미루어 볼 때, 이 상관관계에서 온도의 분산이 있는 또 다른 이유는 중력과 화학성분비, 그리고 성간보정값의 정확한 결정에 한계가 있었기 때문인 것으로 생각된다. 특히 자외선 영역에서는 화학성분비의 값과 성간흡수에 의한 스펙트럼의 변화가 매우 중요하기 때문에, 그림 4와 5에서 다항식

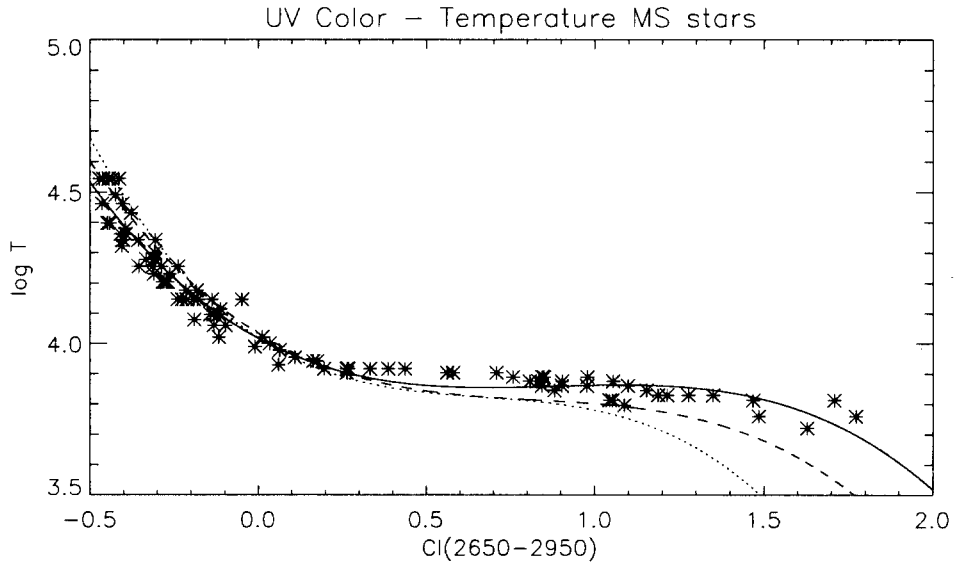


그림 4. 주계열별들의 유효온도와 색지수의 상관관계. 실선은 polynomial fitting의 결과이고, 파선은 주계열에 해당하는 Kurucz 대기모델에서의 온도와 색지수의 상관관계를 나타내고, 점선은 Kang et al. (1998)이 구한 주계열성의 유효온도와 색지수의 상관관계를 나타낸다.

의 곡선에서 많이 벗어나는 별들은 고분산 자료를 통한 흡수선들의 분석과 보다 자세한 성간흡수에 대한 정보를 통해 보완되어야 할 것이다.

우리가 구한 온도와 자외선 색지수의 상관관계를 이론적인 대기모델과 비교하기 위해 Allen(1976)이 주계열성과 초거성에 대해 제시한 온도와 중력을 가지는 Kurucz 모델을 선택하여 다항식으로 표현하여 보았다. 이렇게 계산된 다항식의 계수는 표 3에 제시하였고 그림 4의 파선으로 나타내었다. 이때, 화학성분비는 태양과 비슷한 값을 가정하였다. 전체적으로는 이론적인 대기모델과 비슷하였으나, 동일한 자외선 색지수에 대해 고온의 별에서는 이론적인 대기모델의 온도가 조금 높거나 비슷한 값을 나타내었다. 이것은 Non-LTE 효과에 의하여 O, B 형의 별에서 유효온도가 낮게 추정된 Underhill et al. (1979)의 결과와 동일하였으며, 이 효과는 고온의 초거성에서 온도결정을 어렵게 하는 주요인이 된다. 한편, 저온의 별에서는 그 반대의 양상을 보였는데, 이것은 채층활동 등의 영향으로 온도가 이론적인 대기모델보다 높게 추정되었기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 이러한 결과는 항성대기 자체의 특성 뿐만 아니라 성간물질에 의한 흡수와 Kurucz 대기모델의 scale을 조정하는 과정에 의한 영향에 기인할 수 있기 때문에 이에 대한 보다 자세한 연구가 요구된다.

그림 4에서 Kang et al. (1998)이 구한 상관관계함수는 고온의 별에서 Kurucz 대기모델 보다 온도가 높게 나타났지만, 저온의 별에서는 Kurucz 대기모델과 비슷한 모습을 보였다. 고온의 별에서 Kang et al. (1998)의 결과가 이론적인 대기모델보다 온도가 높게 나타난 현상은 온도가 10000 K 이

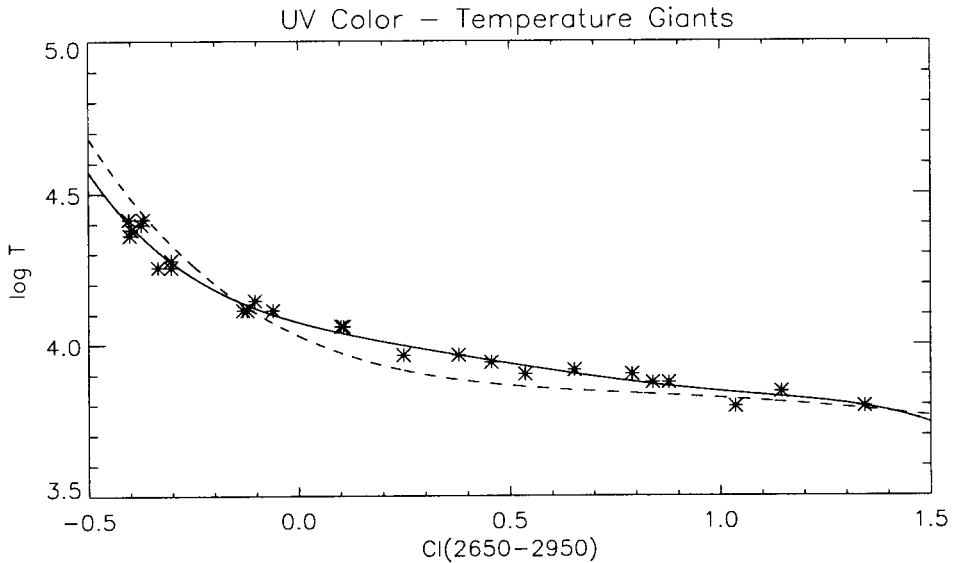


그림 5. 초거성인 별들의 유효온도와 색지수의 상관관계. 실선은 polynomial fitting의 결과이고, 파선은 초거성에 해당하는 Kurucz 대기모델에서의 온도와 색지수의 상관관계를 나타낸다.

상인 별에서 Flower(1996)의 결과보다 온도가 체계적으로 높게 추정되었기 때문인 것으로 생각된다. 그리고, 자외선 색지수가 0.8 보다 큰 영역에서는 Kurucz 대기모델 보다 온도가 낮아지는데, 이것은 G 형 보다 조기형 별들에 대해서만 온도를 구하였을 뿐만 아니라, 선택된 별의 갯수가 충분하지 않았기 때문이다.

#### 4. 결 론

우리는 차등보정법을 이용한 이론적인 대기모델과의 비교를 통해 41개의 이미 온도를 알고 있는 별들의 온도를 구하였다. 이 온도는 다른 방법으로 구한 온도와 비교해 보았을때, G 형 보다 만기형 별을 제외하고는 10% 이내에서 잘 맞았다. 또, IUE 표준성 118개에 대해서 자외선 영역에서의 색지수와 이러한 방법으로 결정한 온도와 상관관계를 구하였다. 이러한 상관관계함수는 Kang et al. (1998)의 결과나 이론적인 대기모델로부터의 결과와 전체적으로는 비슷하였으나, 고온의 별에서는 우리가 구한 온도가 조금 낮게 나타났으며, 저온의 별에서 반대의 양상을 보였다. 이것은 Non-LTE 효과와 채층활동 등의 영향으로 고온의 별에서는 온도가 낮게 그리고 저온의 별에서는 온도가 높게 추정된 것으로 생각된다. 또한, 자외선 영역에서는 성간흡수나 별의 화학조성비에 따라서 스펙트럼의 변화가 크기 때문에 보다 정확한 성간흡수에 대한 보정과 별의 화학성분에 대한 연구가 요구된다.

참고문헌

- Allen, C. W. 1976, *Astrophysical Quantities*, 3rd ed., Athlone Press, pp. 206
- Bessel, M. S., Castelli, F. & Plez, B. 1998, *A&A*, 333, 231
- Blackwell, D. E., Petford, A. D., Arribas, S., Haddock, D. J. & Selby, M. J. 1990, *A&A*, 232, 396
- Code, A. D., Davis, J., Bless, R. C. & Hanbury Brown, R. 1976, *ApJ*, 203, 417
- Flower, P. J. 1996, *ApJ*, 469, 355
- Hanbury Brown, R., Davis, J. & Allen, L. R. 1974, *MNRAS*, 167, 121
- Kang, Y. W., Ji, N. H., Han, M. R., Choi, Y. J., Han, W. Y. & Lee, W. B. 1998, *JA&SS*, 15, 91
- Kurucz, R. L. 1993, CD-ROM 13, ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km s<sup>-1</sup> Grid (Cambridge: Smithsonian Astrophys. Obs.)
- Malagnini, M. L. & Morossi, C. 1983, *Statistical Methods in Astronomy*, ESA SP-201, 27
- Malagnini, M. L. & Morossi, C. 1990, *A&AS*, 85, 1015
- Malagnini, M. L. & Morossi, C. 1997, *A&AS*, 326, 736
- Malagnini, M. L., Morossi, C., Rossi, L. & Kurucz, R. L. 1986, *A&A*, 162, 140
- Michael, N. F., O'Connell, R. W., Burstein, D. & Wu, C. C. 1990, *ApJ*, 364, 272
- Ridgway, S. T., Joyce, R. R., White, N. M. & Wing, R. F. 1980, *ApJ*, 235, 126
- Savage, B. D. & Mathis, J. S. 1979, *ARA&A*, 17, 73
- Wu, C. C., Ake, T. B., Boggess, A., Bohlin, R. C., Imhoff, C. L. & Holm, A. V. 1983, *IUE NASA Newsletter No. 22 (NASA/GSFC)*
- Underhill, A. B., Divan, L., Prevot-Burnichon, M.-L. & Doazan, V. 1979, *MNRAS*, 189, 601