

Holmberg 은하 직경과 de Vaucouleurs 은하 직경의 상관 관계*

홍 정호** · 천 문석

연세대학교 천문기상학과

(1985년 12월 1일 받음)

The Correlation between Holmberg's diameter and de Vaucouleurs' diameter of External Galaxies

Jung-Ho Hong** and Mun-Suk Chun

Department of Astronomy & Meteorology, Yonsei University

(Received December 1, 1985)

요 약

Holmberg의 은하 직경과 SUGC에 있는 de Vaucouleurs face-on 은하 직경과의 차이는 BGC와 Holmberg 목록으로 Heidmann 등이 구한 차이보다 더 적게 나타났는데, 이는 평균표면광도 $\mu_B = 24.5$ 등급에서 구한 face-on 은하 직경을 수록한 BGC 자료들을 Heidmann 등이 사용했기 때문이다. 또, 본 논문에서 구한 Holmberg 은하 직경과 de Vaucouleurs 은하 직경과의 상관관계식에서 $D_h > D_v$ 로 나타났으므로 Holmberg 은하 반경 $b = \frac{1}{2} D_v$ 로 사용하는 것이 옳지 않다고 본다.

Abstract

Holmberg's diameters of galaxies D_h were obtained from Holmberg catalogue. The difference between Holmberg's diameter and de Vaucouleurs' face-on diameter is compared with the results of Heidmann *et al.* The difference obtained in this paper is smaller than that of Heidmann *et al.* Also, the correlation between D_h and D_v was obtained for each type in de Vaucouleurs' classification of galaxies. It shows that D_h is overestimated that D_v .

* Yonsei University Observatory Contribution No. 36.

** 현 국립천문대 연구원

1. 서 론

외부은하를 연구하는 데 가장 중요한 요소 중의 하나인 은하의 직경을 결정하는 것은 은하의 절대등급을 구하는 것만큼 어렵다. 그 이유는 대부분 은하들의 낮은 표면광도 때문에 은하의 직경을 측정하기가 어렵기 때문이다. 따라서, 일정한 단위면적(arc sec)²에서의 밝기에 대한 등급을 정하는데, 이를 등광도라 한다. 그리하여, 외부은하의 중심으로부터 그 등광도까지 해당되는 은하의 직경을 결정하는 것이다. 그러므로, 그 등광도의 한계를 어떻게 결정하느냐에 따라 은하의 직경이 다르게 나타날 수 있다.

외부은하의 직경을 관측하는 방법에는 사진관측에 의한 것과 광전측광에 의한 것, 두 가지로 크게 나눌 수 있다. 사진관측으로 측정된 은하의 직경을 정하는 방법 또한 두 가지로 나눌 수 있는데, 그 하나는 사진건판을 육안으로 조사하여 개략적인 직경을 구하는 환산은하직경과 다른 하나는 photometer tracing에 의해 구하는 photometric 은하 직경이다. 환산은하 직경은 Reinmth(1926), Shapley-Ames(1932) 등에 의해 주어졌으며, Photometrie 은하 직경은 Holmberg(1958)에 의해 측정하였는데, Wilson 천문대에 있는 60인치와 100인치 반사망원경을 사용하여 300개의 가까운 외부은하들을 일정한 등광도, 즉 사진에 의한 평균표면광도 μ_{pg} 를 26.5 mag/(arc sec)²을 취하여, 그 등급까지에 해당하는 거리를 정하여 각 은하에 대한 장직경, 단직경을 정의하였다.

de Vaucouleurs 등(1958)은 Johnson의 UBV filter를 사용한 광전 측광관측으로 밝은 외부은하들의 요소들을 BGC에 수록하여 발간하였다. 여기에 수록된 요소들은 은하 직경, 등급, 색지수, 시선속도 등이 있으며, 대부분의 자료들은 Lowell 천문대의 21인치 반사망원경 관측에 의한 것이었다.

그 후 15년 동안 Stromlo 천문대와 McDonald 천문대(de Vaucouleurs 1960), Flagstaff에 있는 미 해군성 천문대(Ables 1971) Asiago 천문대(Bertola 1966 ; Capaccioli 1974), Cordoba 천문대(Sersic 1968 ; de Vaucouleurs와 Aguero 1973), 그리고 St. Andrews 천문대 등에서 은하 직경을 얻기 위한 많은 연구가 진행되었다. 이들은 Johnson의 B filter를 가지고 은하의 평균표면광도 μ_B 를 25.0mag.(arc sec)²로 하여 은하의 장직경과 단직경을 구하였다. 이 평균표면광도 μ_B 는 밤 하늘 밝기의 약 1/10에 상당하는 것으로, 처음 Redman(de Vaucouleurs 등 1964)이 주장하였으며, Liller(1960, 1966)에 의해 사용되었다. de Vaucouleurs 등(1976)은 이 평균표면광도 μ_B 를 사용하여 은하의 직경과 축비 등을 SBGC에 발표하였다.

오늘날 일반적으로 사용되고 있는 은하 직경의 자료로는 Holmberg 목록에 수록된 은하의 장직경, 단직경과 SBGC에 수록된 face-on 은하 직경을 사용하고 있으며, 또한 Holmberg 목록에 있는 은하의 자료들은 천구 면에 투사된 타원구조의 장반경과 단반경이므로, 타원구조를 원형구조로 바꾸어 구한 은하의 반경을 SBGC에 수록된 face-on 은하 직경의 $\frac{1}{2}$ 로 취

하여 사용하고 있다.

본 논문에서는 Holmberg 목록에 수록된 256개 은하의 장직경, 단직경에서 구한 Holmberg 은하 직경을 D_h 라 하고, 또 SBGC에 수록된 각 은하들의 face-on 은하 직경을 D_v 라 하여 de Vaucouleurs의 형태학적 은하 분류의 각 단계별 D_h-D_v 의 평균값 및 표준편차를 구하였으며, Heidmann 등이 BGC를 이용하여 구한 D_h-D_v 의 평균값과 비교하였다. 3장에서는 D_h 와 D_v 와의 상관관계를 구하였다. 또, 조기형, 중기형, 만기형으로 세분하여 각각의 D_h 와 D_v 의 상관관계도 구하여 보았으며, $\rho = \frac{1}{2} D_v$ 의 사용에 관한 타당성 여부를 조사하였다.

2. Holmberg 은하 직경과 de Vaucouleurs 은하 직경의 차이

Holmberg 목록에 있는 은하의 장직경 a 와 단직경 b 로부터 다음식에 의해 타원구조를 원형 구조로 환산하여 Holmberg 은하 직경 D_h 를 구하였다.

타원구조의 넓이를 S 라 하면,

$$S = \pi \times \frac{1}{2}a \times \frac{1}{2}b = \pi \rho^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$\rho = \frac{1}{2}\sqrt{ab} = \frac{1}{2}D_h \dots\dots\dots (2)$$

이 된다.

de Vaucouleurs 등(1964)은 BGC에 수록된 face-on 은하 직경 $D(0)$ 를 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\log D(0) = \log D - C \log R \dots\dots\dots (3)$$

단, D : 등광도 은하 직경이며 $R = a/b$ 이다.

(3) 식을 유도한 방법은 아래와 같다. 기울기에 따르는 은하의 장직경과 단직경의 크기 변화는 어떤 모델을 정하여 계산되어야 한다. 그러므로, 은하의 바깥부분에서의 내부 흡수를 무시할 수 있다는 가정과 체적방출률 E 는 intrinsic 축비 q 를 갖는 타원체의 분포를 갖는다고 가정하면,

$$E(x, y, z) = E(r) \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{r^2} + \frac{z^2}{r^2 q^2} = 1$$

이 된다.

그러면, 시선방향에 대해 xy 평면이 i 만큼 기울어졌다고 하면 장축에 대한 표면 밝기 $B_i(x)$ 는,

$$B_i(x) = 2 \int_0^{\infty} E \sqrt{(x^2 + \eta^2 r^2)} dr. \dots\dots\dots (5)$$

단, $\eta^2 = \cos^2 i + \frac{\sin^2 i}{q^2}$

이 된다.

주어진 한계밝기 B_i 에 대해 겉보기장축 a에서의 밝기는,

$$B_i = B_i(a) \dots\dots\dots (6)$$

가 되며, face-on 은하의 a(0)에서의 밝기를 B_0 라고 했을 때의 한계밝기는,

$$B_i = B_0 [a(0)] \dots\dots\dots (7)$$

가 된다.

겉보기단축을 따라 중심으로부터 투영된 거리 ξ 에서의 밝기는,

$$B_i(\xi) = \int_0^{\infty} E [\sqrt{(r \sin i - \sec i)^2 + (r^2 \cos^2 i) / q_0^2}] dr \dots\dots\dots (8)$$

이 된다.

한계밝기 B_i 과 일치하는 겉보기단축 b에서의 밝기는,

$$B_i = B_i(b) \dots\dots\dots (9)$$

이 된다.

Heidmann 등이 구한 표 10에서의 값에 따라 체적방출률 $E(r) = E_0 r^{-n}$ 이 지수법칙을 따른다고 가정하면, n = 2, 3, 4, 5, 6, 7에 대한 (6), (7), (8) 식의 해는,

$$a(0)/a = (\eta q)^{1/(n-1)} \dots\dots\dots (10)$$

$$b/a = \eta q \dots\dots\dots (11)$$

표 1은 Heidmann 등이 평균표면밝기 μ_B 가 23 등급에서 28 등급까지 변화하는 데 따른 장

축의 변화량과 지수의 변화량을 수록한 것이다. 표 1의 첫째 행은 은하의 평균표면광도이며, 둘째 행은 광도 변화에 따른 장축의 변화량이며, 셋째 행은 지수 $(n-1)$ 의 변화량이다.

표 1. 평균표면광도 μ_B 의 변화에 따른 장축 a 의 변화율과 지수 $(n-1)$ 의 변화

| B | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|----|
| $\Delta a/a$ | 0.2666 | 0.210 | 0.174 | 0.148 | 0.129 | |
| $n-1$ | 3.46 | 4.39 | 5.30 | 6.23 | 7.15 | |

식 (10), (11)에서 η 를 소거하고, 장축 a 대신 장직경 D 를 대입하여 \log 를 취하면,

$$\log D(0) = \log D - \frac{1}{n-1} \log R \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\frac{1}{n-1} = C \text{라 하면, } \log D(0) = \log D - C \log R$$

이 된다.

BGC에서는 $C = 0.4$ 로 취하였으나, Tully(1968, 1972)는 $C = 0.4$ 가 큰 값이며, $C \approx 0$ 이라고 주장하였다. 그러나, Heidmann 등은 $C < 0.4$ 인 것을 확인하고, $C = 0.206$ 이 되도록 평균표면광도 $\mu_B = 25.0 \text{ mag}/(\text{arc sec})^2$ 를 정하고, 이 광도에서의 나선은하에 대한 $n-1$ 의 평균값을 4.85로 하였다.

그러나, SBGC에서는 광학 및 전파자료를 비교하여 face-on 은하 직경을 계산하는데, $C = 0.235$ 를 취하여 사용하였다.

Holmberg 목록을 이용하여 식 (2)에서 구한 Holmberg 은하 직경 D_h 의 \log 값과 SBGC에 수록된 face-on 은하 직경, 즉 de Vaucouleurs 은하 직경 D_v 의 \log 값을 de Vaucouleurs의 형태학적 은하 모양에 따른 각 은하의 $\log D_h - \log D_v$ 의 차이값, 즉 $\log D$ 를 구하였으며, 평균값 $\langle \Delta \log D \rangle$ 를 구하여 표 2의 4행, 표준편차는 5행에 수록하였다. Heidmann 등의 것은 3행에 수록하여 비교하여 보았다.

그림 1은 $\log D_h - \log D_v$ 를 종축으로 각 은하 모양에 따른 단계별 숫자 T 를 횡축으로 하여 그린 것이며, 직선은 본 논문에서 구한 평균값을 나타낸 것이며, 점선은 Heidmann 등이 구한 평균값을 나타낸다.

Heidmann 등이 구한 $\log D$ 의 평균값과 본 논문에서 구한 $\log D$ 의 평균값과 큰 차이가 나는 이유는 다음과 같다. Heidmann 등은 BGC 자료들을 사용하였으므로 은하의 평균표면광도 B 가 $24.5 \text{ mag}/(\text{arc sec})^2$ 에서 정의된 은하의 직경이며, 본 논문에서 사용한 SBGC 자료들은 은하의 평균표면광도 μ_B 를 $25.0 \text{ mag}/(\text{arc sec})^2$ 에서 정의된 은하의 직경이기 때문이다.

표 2. $\log D$ 의 비교

형태학적 모양에 따른 Holmberg 은하 직경 D_h 의 \log 값과 BGC와 SBGC에서의 face-on 은하 직경 D_v 의 \log 값과의 차이를 나타낸 것으로, $\langle \Delta \log D \rangle$ 는 각 T값에 대한 평균값이며, D_h 와 D_v 의 단위는 0.1 arc min이다.

| TYPE | T | $\log D$ Heidmann <i>et al.</i> (1972) | $\log D$ (Hong) | 표준 편 차 |
|------|----|--|--------------------|--------|
| So/a | 0 | 0.26 | 0.12 | 0.09 |
| Sa | 1 | 0.22 | 0.04 | 0.08 |
| Sab | 2 | 0.255 | 0.06 | 0.09 |
| Sb | 3 | 0.19 | 0.03 | 0.08 |
| Sbc | 4 | 0.19 | 0.07 | 0.06 |
| Sc | 5 | 0.19 | 0.08 | 0.09 |
| Scd | 6 | 0.185 | 0.07 | 0.10 |
| Sd | 7 | 0.18 | 0.04 | 0.09 |
| Sdm | 8 | 0.19 | 0.13 | 0.08 |
| Sm | 9 | 0.185 | 0.06 | 0.08 |
| Im | 10 | 0.26 | 0.18 | 0.08 |

* $\Delta \log D = \log D_h - \log D_v$

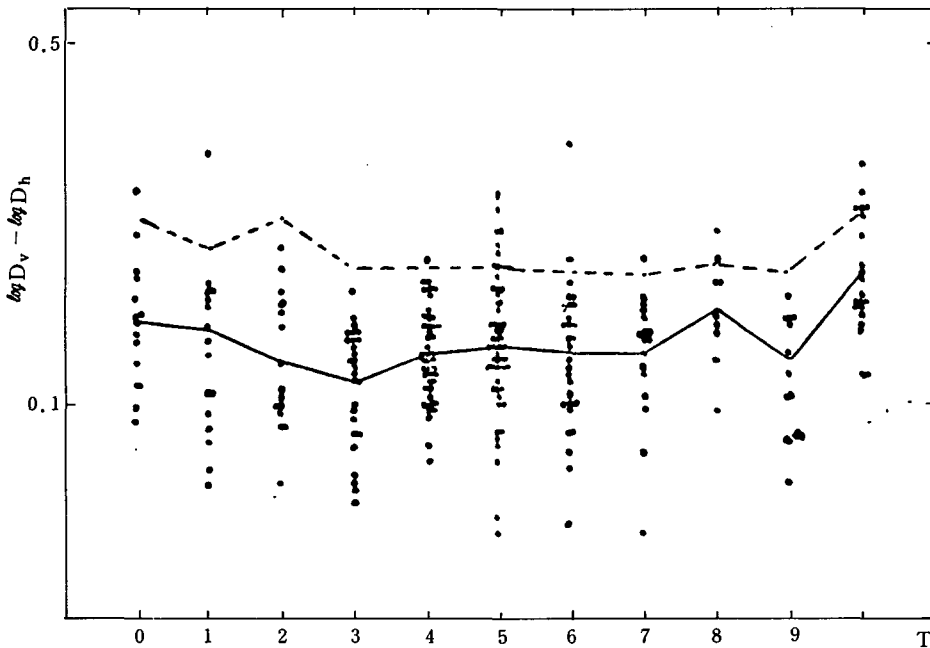


그림 1. de Vaucouleurs의 의하 분류에 따른 각 단계별 $\log D_h - \log D_v$

접선은 Heidmann 등의 각 단계에 따른 $\langle \Delta \log D \rangle$ 값이며, 직선은 본 논문에서 구한 $\langle \Delta \log D \rangle$ 값을 나타낸다. 이때 각 은하 직경의 단위는 0.1 arc min이다.

3. Holmberg 은하 직경과 de Vaucouleurs 은하 직경과의 상관관계

Holmberg 은하 직경 D_h 와 de Vaucouleurs 은하 직경 D_v 와의 상관관계를 얻기 위하여 1에서 구한 D_h 와 D_v 에 각각 \log 값을 취한다. $\log D_h$ 를 횡축, $\log D_v$ 를 종축으로 하여 256개의 은하들에 대한 그림은, 그림 2에 그렸다. 그림 2에 나타난 직선은 $\log D_h$ 와 $\log D_v$ 의 상관관계를 나타낸다. 각 직경의 단위는 0.1 arc min이다.

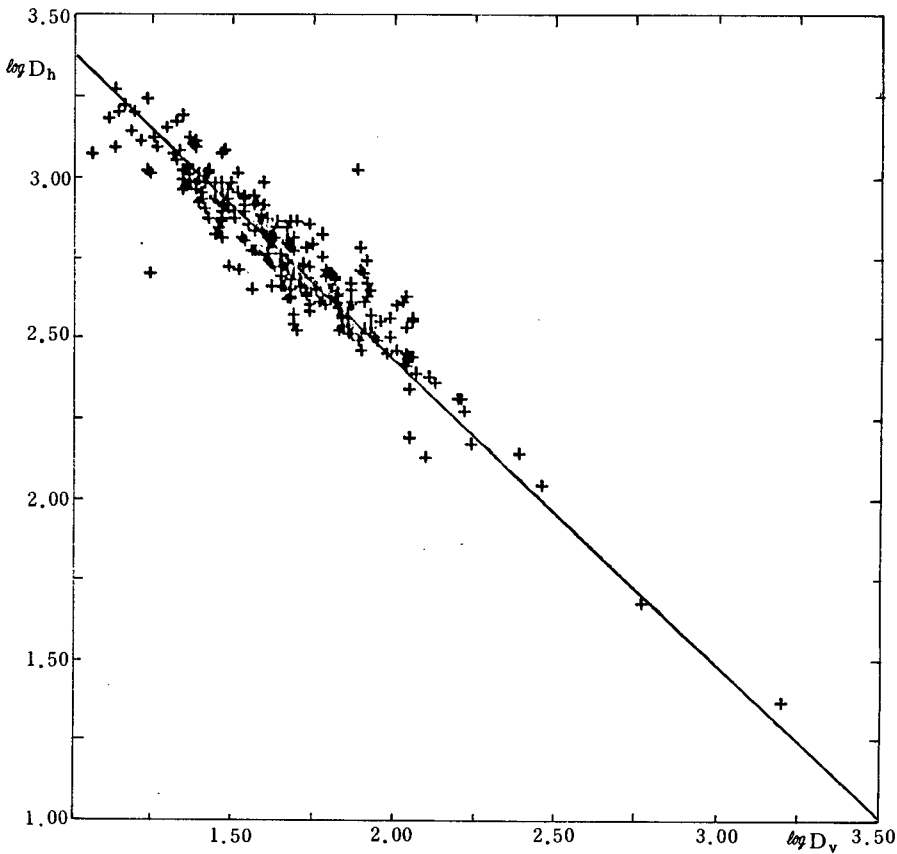


그림 2. 256개의 나선은하에 대한 $\log D_h$ 와 $\log D_v$ 의 상관관계 (D_h 와 D_v 의 단위는 0.1 arc min이다).

그리고, 최소자승법으로 구한 256개 은하의 $\log D_v$ 와 $\log D_h$ 와의 상관관계식,

$$\log D_v = 1.04 \log D_h - 0.15 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.10 \text{)} \dots\dots\dots (6)$$

을 얻었다. 같은 방법으로 Holmberg 목록에 나타난 256 개 은하 중 조기형 나선은하에 속한 116 개의 은하들에서 구한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.06 \log D_h - 0.17 \text{ (표준편차} = 0.08) \text{ (7)}$$

을 얻었으며, 99 개의 중기형 나선은하에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.02 \log D_h - 0.12 \text{ (표준편차} = 0.11) \text{ (8)}$$

을 얻었다.

또, 40 개의 만기형 나선은하에 대한 상관관계식은,

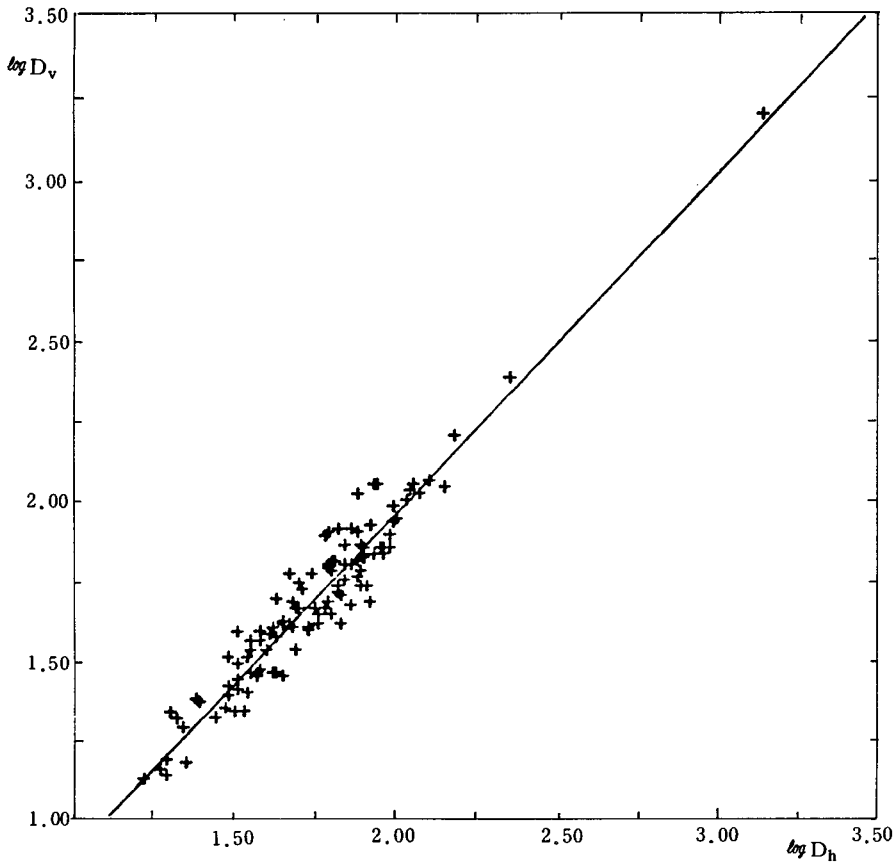


그림 3. 116 개의 조기형 나선은하에 대한 $\log D_h$ 와 $\log D_v$ 의 상관관계
(단, D_h 와 D_v 의 단위는 0.1 arc min이다).

$$\log D_v = 1.03 \log D_h - 0.19 \quad (\text{표준편차} = 0.10) \quad (9)$$

을 얻었다.

(7)식, (8)식, 그리고 (9)식에 대한 그림을 그림 3, 4, 5에 직선으로 표시하여 그렸다. 각 그림에서 종축은 $\log D_v$, 횡축은 $\log D_h$ 이다. 또, 각 은하들을 de Vaucouleurs의 은하 분류에 따라 $T = 0$ 인 SO형 은하에서 $T = 10$ 인 불규칙 은하로 세분하여, $\log D_h$ 와 $\log D_v$ 의 상관관계식을 최소승법으로 구하였다. 이때 D_h 와 D_v 의 단위는 0.1 arc min 이다.

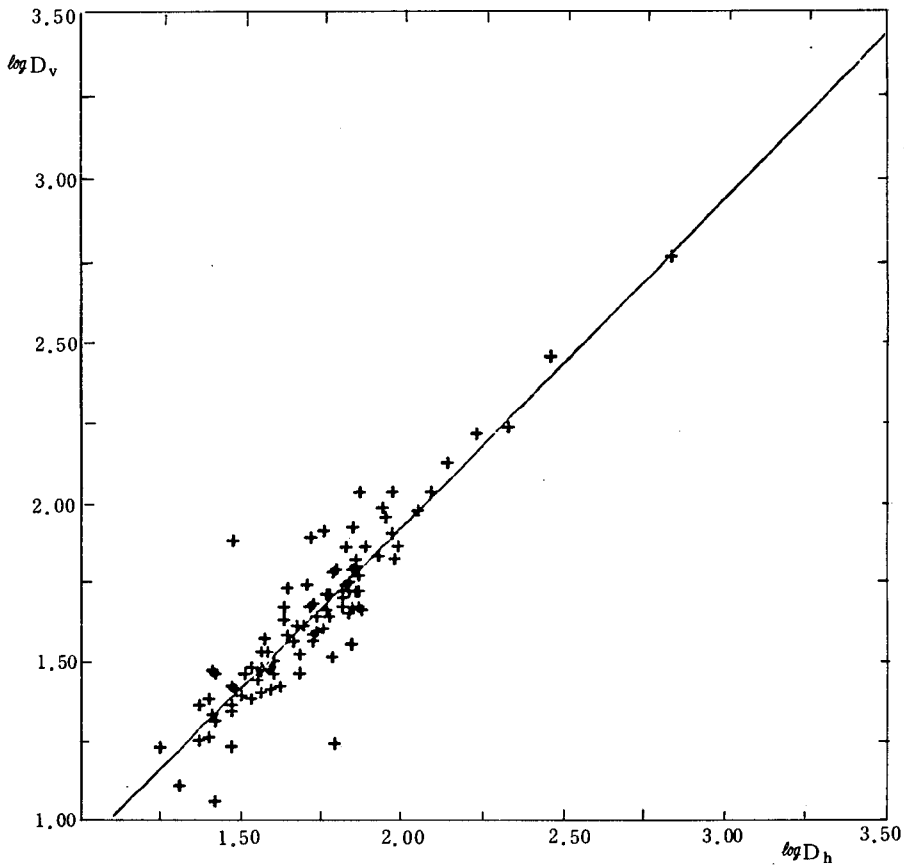


그림 4. 99 개의 중기형 나선은하에 대한 $\log D_h$ 와 $\log D_v$ 의 상관관계(D_h 와 D_v 의 단위는 0.1 arc min 이다).

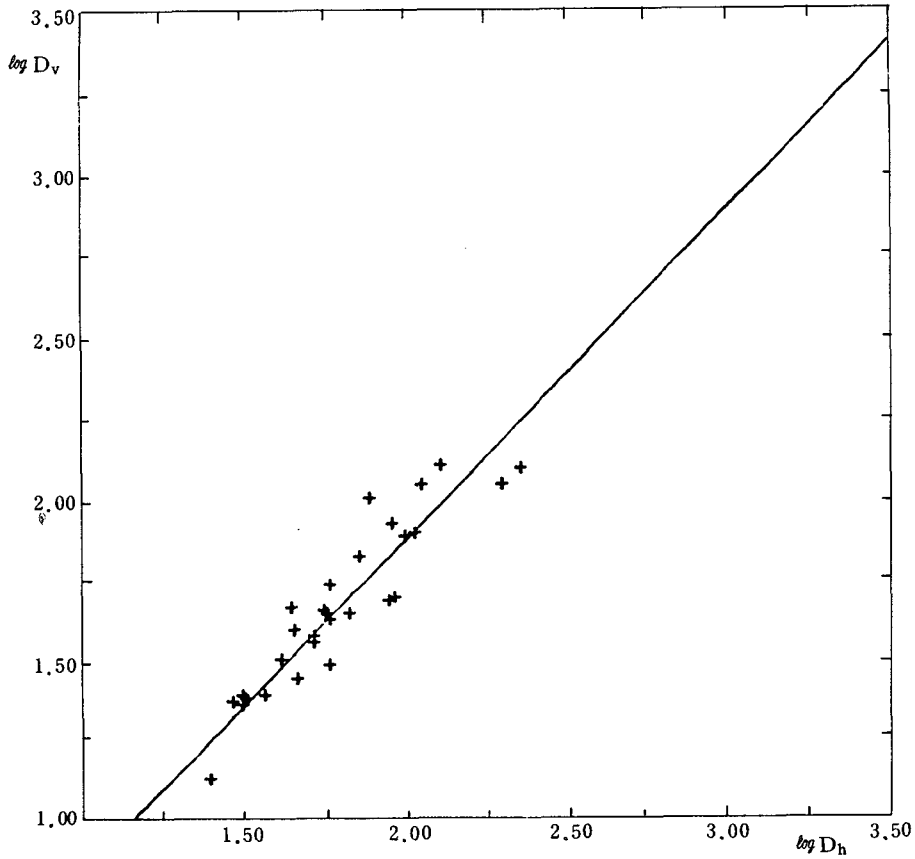


그림 5. 40 개의 만기형 나선은하에 대한 $\log D_h$ 와 $\log D_v$ 의 상관관계 (D_h 와 D_v 의 단위는 0.1 arc min이다).

T = 0 인 14 개의 SO형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.15 \log D_h - 0.38 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.08 \text{)}$$

T = 1 인 14 개의 Sa형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.34 \log D_h - 0.58 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.07 \text{)}$$

T = 2 인 15 개의 Sab형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 0.97 \log D_h - 0.00 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.09 \text{)}$$

T = 3 인 27 개의 Sb형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.04 \log D_h - 0.10 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.08 \text{)}$$

T = 4 인 41 개의 Sbc형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.05 \log D_h - 0.15 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.06 \text{)}$$

T = 5 인 54 개의 Sc형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 0.90 \log D_h + 0.07 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.11 \text{)}$$

T = 6 인 29 개의 Scd 형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.09 \log D_h - 0.23 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.10 \text{)}$$

T = 7 인 15 개의 Sd 형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.03 \log D_h - 0.08 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.09 \text{)}$$

T = 8 인 9 개의 Sdm 형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.21 \log D_h - 0.48 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.05 \text{)}$$

T = 9 인 11 개의 Sm 형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.20 \log D_h - 0.41 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.06 \text{)}$$

T = 10 인 20 개의 Im 형 은하들에 대한 상관관계식은,

$$\log D_v = 1.00 \log D_h - 0.18 \text{ (표준편차 } \sigma = 0.08 \text{)}$$

을 구하였다. 그리고, 각 관계식을 그림 6 a-k 에 직선으로 표시하였다. 각 그림에서 횡축은 $\log D_h$, 종축은 $\log D_v$ 이며, 각 직경의 단위는 0.1 arc min 이다.

그리고, $\rho = \frac{1}{2} D_v$ 의 사용에 대한 타당성 여부를 조사하기 위해, $D_h = D_v$ 라 놓고 (6)식, (7)식, (8)식, (9)식을 풀면, (7)식에서 은하의 반경이 68'.1 보다 큰 경우 $D_v > D_h$ 가 나오며, 68'.1 보다 작은 경우 항상 $D_h > D_v$ 가 나온다. (6)식, (8)식, 그리고 (9)식에서는 항상 $D_h > D_v$ 가 나온다.

그러므로, $\rho = \frac{1}{2} D_v$ 로 사용하는 것은 옳지않다고 본다. 위의 식들로부터 나온 결과를 보면, de Vaucouleurs 는 평균표면광도 μ_B 를 25.0 등급으로 정하여 은하의 직경을 구하였으며, Holmberg 는 평균표면광도 μ_B 를 26.5 등급으로 정하여 은하의 직경을 구하였기 때문에, de Vaucouleurs 은하 직경 D_v 가 Holmberg 은하 직경 D_h 보다 작게 측정되어졌다는 것은 당연한 결과인 것 같다.

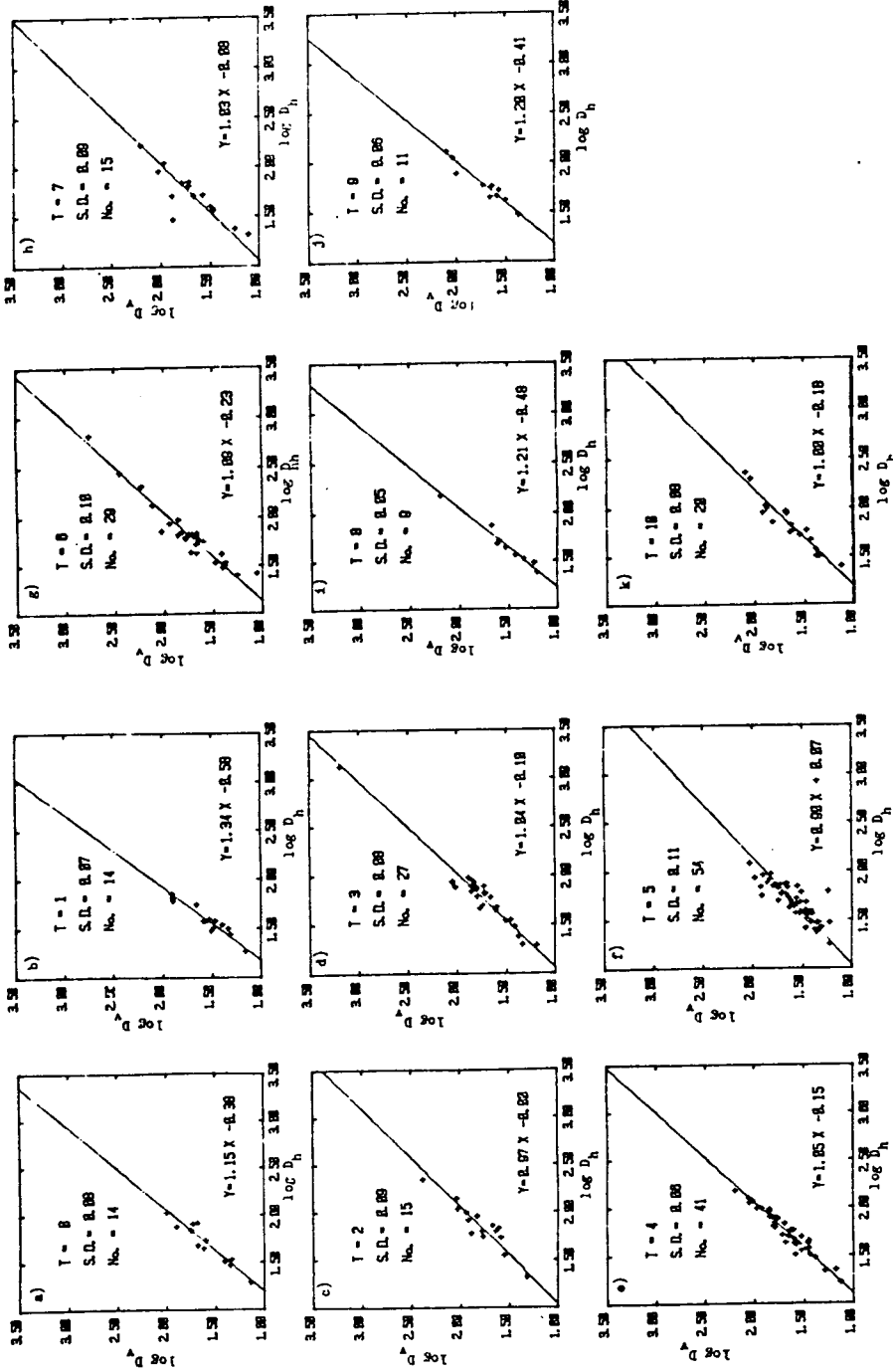


그림 6. a-k de Vaucouleurs 은하 분류에 따른 각 단계별 Holmberg 은하 직경과 de Vaucouleurs 은하 직경과의 상관관계. 각 그림에서 직선으로 표시된 것은 $\log D_v$ 를 y , $\log D_h$ 를 x 로 하여 구한 상관관계를 나타낸 것이다. 이때, D_h 와 D_v 의 단위는 0.1 arc min이다.

References

- Ables, H.D., 1971, *Pub. U. S. Naval Obs.*, **XX**, Part IV.
- Baade, W., 1963, *Evolution of Stars and Galaxies* (Cambridge: Harvard University Press).
- Bertola, F., 1966, *Mem. S. A. Ital.*, **37**, No. 3.
- Capaccioli, M., 1974, *Mem. S. A. Ital.*, **44**, No. 3.
- de Vaucouleurs, G., 1956a, *Occas. Notes, R.A.S.*, **3**, 118.
- , 1956b, *A.J.*, **61**, 430.
- , 1959, *Handbuch der Physik*, **53**, 275.
- , 1960, *Ap. J.*, **131**, 265.
- , 1961, *Ap. J. Suppl.*, **5**, 233.
- de Vaucouleurs, G. and de VAUCOULERS, A., 1964, *Reference Catalogue of Bright Galaxies* (The Univ. of Texas Press, Austin).
- de Vaucouleurs, G. and Aguero, E., 1973, *P.A.S.P.*, **85**, 150.
- de Vaucouleurs, A., de Vaucouleurs, G. and Corwin, H.G. Jr., 1976, *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies* (The Univ. of Texas Press, Austin).
- Heidmann, J., Heidmann, N. and de Vaucouleurs, G., 1972, *Mem. R. astro. Soc.*, **75**, 85.
- Hodge, P. W., 1966, *The Physics and Astronomy of Galaxies and Cosmology* (New York: McGraw-Hill Book Co.).
- Holmberg, E., 1946, *Medd. Lunds Obs.*, **2**, No. 114.
- , 1958, *Ibid.*, **2**, No. 136.
- Holmberg, E., Lauberts, A., Schuster, H. E. and West, R. M., 1974a, *A. & Ap. J. Suppl.*, **18**, 463.
- Pence, W., 1976, *Ap. J.*, **203**, 39.
- Pettit, E., 1954, *Ap. J.*, **120**, 413.
- Sandage, A., 1956, *A. J.*, **61**, 97.
- , 1961, *Hubble Atlas of Galaxies* (Washington: Carnegie Institution of Washington).
- , 1975, *Galaxies and The Universe* (The Univ. of Chicago Press: Chicago & London), **1**.
- Sandage, A., Freeman, K. C. and Stokes, N. R., 1970, *Ap. J.*, **160**, 831.
- Sersic, J. L., 1968, *Atlas de Galaxies Australes* (AGA), Cordoba Univ. Obs.
- Spitzer, L. and Baade, W., 1951, *Ap. J.*, **113**, 413.
- Stebbins, J. and Whitford, A. E., 1937, *Ap. J.*, **86**, 247.
- Tully, R. B., 1968, *A. J.*, **73**, 945.
- , 1972, *M. N.*, **159**, 35.