

도시 경계층의 연직구조에 관한 연구

이상득 · 오은주
일본 오오사카 대학 공학부 환경공학과
(1996년 4월 15일 접수)

A Study on Verticle Structure of the Urban Boundary Layer

Sang-Deug LEE and Eun-Joo OH

Department of Environmental Engineering, Osaka University, Japan
(Manuscript received 15 April 1996)

In general, Businger expression is used for determining a turbulence diffusion coefficient. In this study, it is applied to the surface elements of cities such as Asphalt, Ground, Grass, Pond. We set up 5 m-height bar and measured the dry temperature and wet temperature at the height of 0.13, 0.27, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 m.

In addition we measured the wind gradient and wind velocity at the height 3 m, solar radiation continuously for 48 hours on the surface. Compared the measured data to Businger expression, the result showed that Businger expression can be well applied to the complex surface of the city.

Key words : Businger expression, Urban boundary layer, Surface elements.

1. 서 론

인간 활동에 의해 대기중에 방출된 열과 오염물질은, 도시 그 자체가 만들어 내는 기상조건하에서 대기중에 확산된다. 일반적으로, 도시내부는 주위의 지역보다도 높은 건축물이 많고 지표면을 구성하고 있는 요소와 형태가 다르기 때문에 주변지역과 다른 기상 조건을 형성하고 있으며, 그 대표적인 예로 도시 경계층의 출현(Uno et al. 1989) Heat island 현상(Oke, 1981)이 알려지고 있다. 그러나, 그것들의 생성 원인과 나타나는 현상에 대해서는 구체적으로 알려진 예를 찾아 보기 힘들 정도이며, 아직 규명해야 할 문제가 많이 남아 있다. 도시 지역의 고농도 대기오염의 원인과 그 Mechanism을 정확히 파악하기 위해서, 대기 오염물질의 측정과

함께 도시 대기 경계층의 관측 및 수치 Model이 필요하다.

대기 경계층(Atmosphere boundary layer)은 대기의 최하층 부분으로, 지표면으로부터 열, 운동량, 수분 등의 영향을 직접적으로 받으며, Flux 일정의 기층이라고 알려져 있다(竹内등, 1981) 대기 경계층은 오래전부터 많은 연구자에 의해 연구되어 왔으며, 그 중에서도 1968년 미국 Kansas州的 넓은 농경지 관측에 의해 Flux가 거의 일정한 층으로 알려지게 되었으며, Monin-Obukhov 상사치(Monin and Obukhov, 1954)의 형태를 적용하기 위해 실험적 기초를 얻었다. 이 경험식은 지표면이 일정하고, 풍향, 풍속, 기온의 수평방향의 변동이 일정한 아주 이상적인 상태에서 관측하여 얻어 낸 값이다. 이와 같이 이상적인 조건하에서 도출된 경험식을 지표

면 구성요소가 다른 도시에 적용할 수 있는가를 검증하므로써 경험식의 범용화를 얻을 수 있다.

이 논문에서는, 도시 지표면을 구성하고 있는 구성요소 (Asphalt, Ground, 목초지, 연못)에 의한 도시 기후에 미치는 영향을 평가하고, 그 Mechanism의 해명함과 동시에 이상적인 조건하에서 유도된 경험식을 도시 지역에 적용할 수 있는가를 검토하였다.

2. 관측방법

관측은 1993년 8월과 11월에 걸쳐, Asphalt, groud, 목초지, 연못에 대해 수차례에 걸쳐 실시하였다. 관측 장소는 오사카대학 스이타 캠퍼스내에서 가능한 주위의 건물에 영향을 받지 않을 정도의 넓은 장소로, 지표면이 일정하고, 일사 및 풍속에 방해가 되지 않는 관측점을 정하였다. 또한 관측일은 구름이 적고 맑으며, 어느 정도의 바람이 부는 날을 택하였다. 관측은 48시간 연속 측정하는 것을 원칙으로 했으나, 일사의 형편과 기후조건에 의해 다소 짧았던 날도 있었다. 측정점 및 측정항목은, 8월에는 0.13 m, 0.27 m, 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m, 5 m 높이로 건구, 습구온도를 측정하였으며, 높이 3 m에서는 풍속, 풍향, 그리고 지표면에서는 일사량을 측정하였다. 또한, 11월에는 높이 2 m의 관측점을 생략하고, 지표면의 온도를 정확하게 측정하기 위해 지표면에 3개의 관측점을 설치하였다. 그리고 같은 기상 조건하에서 서로 다른 지표면 구성요소에 의한 온도 차이를 비교하기 위해서 똑같은 관측장치를 1대 추가하여 지표면의 구성요소가 서로 다른 2점의 관측점에서 동시 관측을 실시하였다.

건구, 습구온도는 0.3 mm의 copper constantan thermocouples를 사용하였으며, 강제 통풍식 장치에 1개의 copper constantan thermocouples를 공기의 유입구쪽을 향하게 고정하고, 또 다른 1개의 copper constantan thermocouples를 물형깎으로 싸서 濕球온도를 측정하는데 사용하였다. 태양 복사에 의한 온도의 오차를 줄이기 위해 통풍장치의 주위

에 알루미늄박을 감았다. 그리고 이 측정 장치를 길이 5 m의 막대에 고정하여 관측을 실시하였다. 지표면 온도 측정에도 copper constantan thermocouples를 지표면에 고정하고, 알루미늄박으로 태양 복사에 의한 온도 상승을 차단하였다. 일사량은 일사계, 풍속, 풍향은 미풍향 풍속계를 사용하였다. 측정 데이터는 연속적으로 자동측정 하였다.

3. 관측결과

3.1 지표면 구성요소별 관측결과

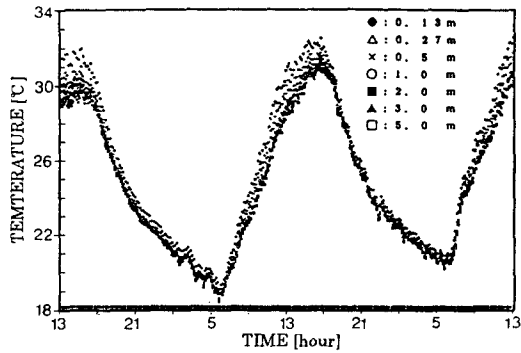
3.1.1 아스팔트 (Asphalt)

관측한 데이터는, 10분간의 평균값으로 나타내었으며, Businger 경험식의 계산값과의 비교에도 이 평균값을 이용하였다. Fig. 1 (a, b, c)은 Asphalt의 관측점에서 8월에 측정된 건구온도, 일사량, 풍속을 나타낸 것이다. Fig. 1a의 건구온도는 주간에는 지표면에 가까울수록 온도가 높은 불안정한 상태이다. 야간에도 높이에 따라 약간의 차이가 있으나, 항상 지표면 부근이 상공보다 높은 불안정한 상태를 유지하고 있다. 일사량의 최대값은 $200[\text{cal}/\text{m}^2 \text{s}]$ 을 넘고 있으며, 풍속은 낮에는 약간 강하며 (3-4 m/s), 야간에는 약하게 (1-2 m/s) 불고, 오전 6시를 전후로하여 바람이 불지 않은 무풍상태에 있음을 알 수 있다.

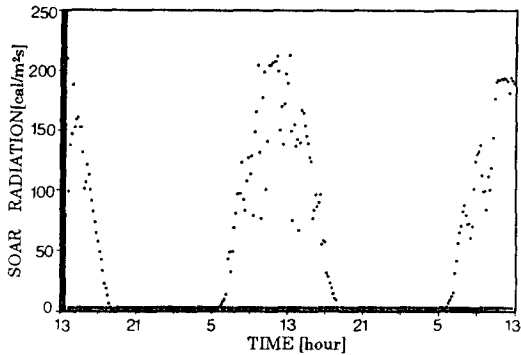
또한 Fig. 2 (a, b, c)는 11월에 Asphalt의 관측점에서 측정된 건구온도, 일사량, 풍속을 나타내었다. 8월에 관측한 data와 비교하면, 일사량 ($150[\text{cal}/\text{m}^2 \text{s}]$)의 변화에 따른 낮의 온도 변화의 폭이 뚜렷하게 나타내고 있음을 알 수 있다. 풍속은 8월과 같은 pattern의 일변화를 보이고 있으나, 밤낮으로 약간 강하게 분다.

3.1.2 운동장 (Ground)

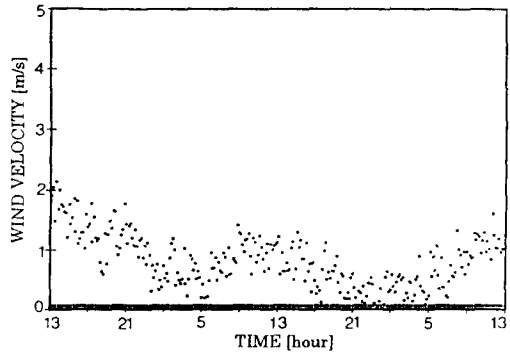
운동장, 목초지의 관측값도 아스팔트와 같은 방



(a) The observed dry temperature on august [°C]



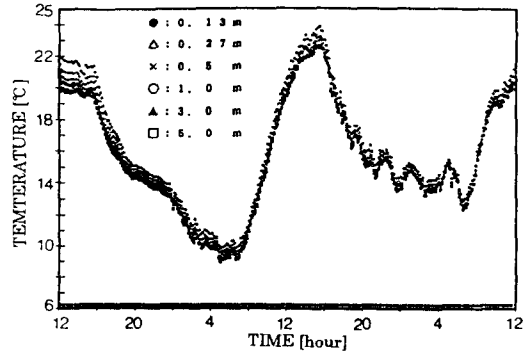
(b) The observed soar radiation on august [cal/m²s]



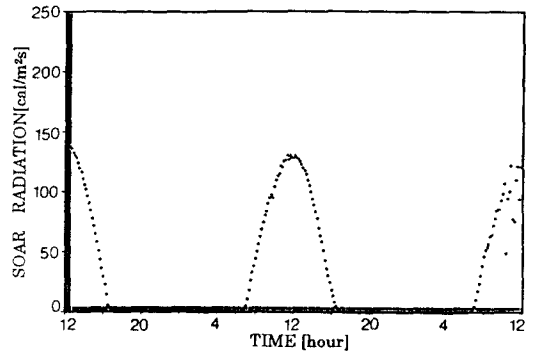
(c) The observed wind velocity on august [m/s]

Fig. 1. The observed of asphalt dry temperature, soar radiation and wind velocity on august.

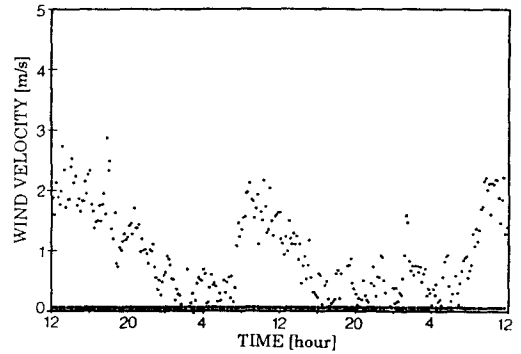
범으로 분석하였으며, 지면상의 관계로 일사량, 풍속의 측정값은 생략하고, 건구온도만을 언급하고자 한다. 일사량, 풍속은 아스팔트에서 언급한 data와 약간 차이는 있으나, 일변화의 patten이 거의 같은 경향을 나타내고 있다.



(a) The observed dry temperature on november [°C]



(b) The observed soar radiation on november [cal/m²s]



(c) The observed wind velocity on november [m/s]

Fig. 2. The observed of asphalt dry temperature, soar radiation and wind velocity on november.

Fig. 3은 Ground에서 8월에 관측한 건구온도를 나타낸 것이다. Fig.에서 낮에 상공의 온도가 낮고 지표면 부근에서 온도가 높은 불안정한 상태를 하고 있으나, 야간에는 온도차가 없는 중립상태를 유지하고 있다.

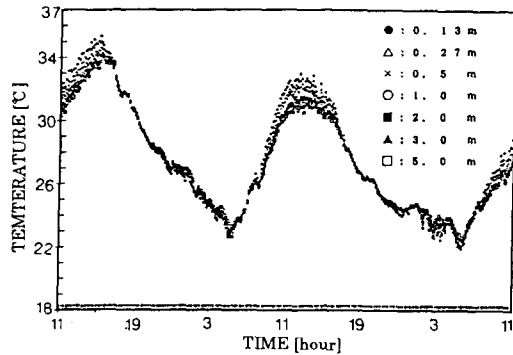


Fig. 3. The observed of ground dry temperature on august.

3.1.3 목초지 (Grass)

Fig. 4은 목초지에서 11월에 관측한 건구온도를 나타낸 것이다. Fig에서 낮에는 불안정한 상태를 하고 있으며, 야간에는 온도차가 없는 중립상태를 유지하고 있다. 또한, 야간에는 지표면에 가까울수록 온도가 하강하는 안정한 상태가 되고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터, 목초지에서는 햇볕이 강하면 지표면 부근의 온도가 급격히 상승하며, 반대로 햇볕이 차단되면 온도 차이가 거의 없는 중립상태임을 알 수 있다. 결국, 목초지에서는 주간에는 일사에 대한 영향이 크며, 야간에는 바람의 영향이 커서 바람이 없는 무풍시에는 지표면 부근의 온도가 낮아지는 안정한 상태가 된다. 그러나, 바람이 불면 곧바로 중립상태로 되돌아 간다.

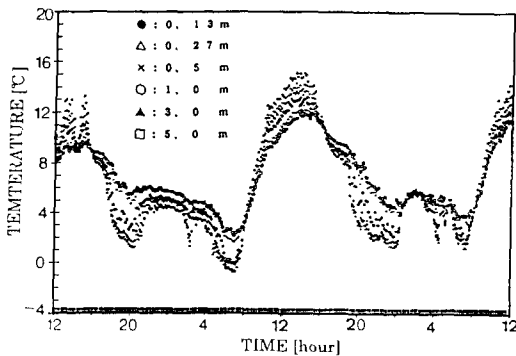


Fig. 4. The observed of grass dry temperature on november.

3.1.4 연못 (Pond)

Fig. 5은 연못에서 11월에 관측한 건구온도와 수면 온도를 나타낸 것이다. 일사량 및 풍속은 아스팔트 (11월)의 관측점과 동시에 관측을 하였기에 Fig. 2 (b, c)을 참조하기 바랍니다. 연못의 수면 온도는 일변화가 작기 때문에, 주간에는 상공의 온도보다 낮으나, 야간에는 수면의 온도가 상공보다 높다. 또한, 주간 수면 부근 (0.5 m 이하)의 온도는 거의 온도 차이가 없는 중립 상태이며, 야간에는 수면 온도의 영향으로 불안정한 상태를 나타내고 있다. 그것은 수면 온도의 영향이 미치는 범위가 0.5 m까지로, 그 이상의 상공은 연못 주위의 영향을 받아 온도가 하강하고 있다. 따라서, 수면에 가까운 0.13 m, 0.27 m는 수온의 영향을 받아 약간 높은 온도 분포를 나타내고 있다.

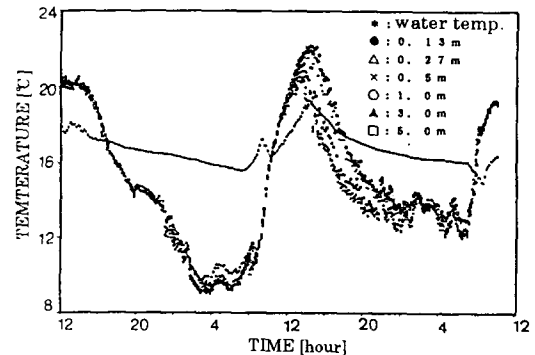
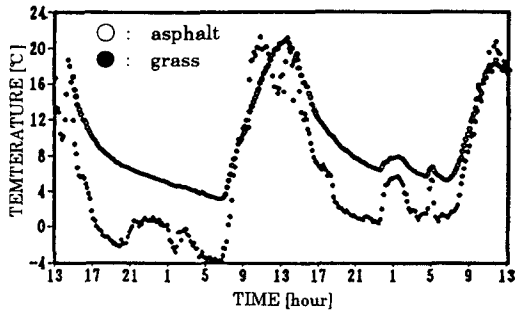


Fig. 5. The observed of pond dry temperature and water temperature on august.

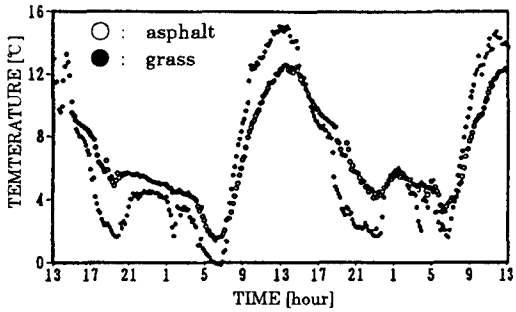
3.2 지표면 구성요소의 차이에 의한 비교

3.2.1 아스팔트 (Asphalt)와 목초지 (Green)

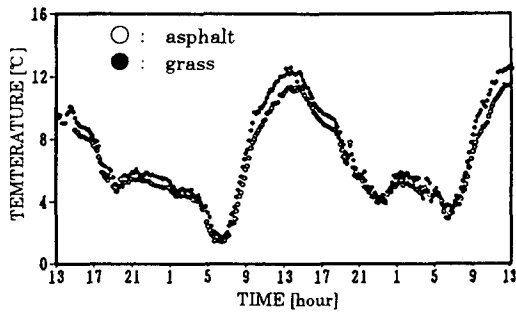
11월에 지표면 구성요소가 서로 다른 아스팔트와 목초지의 관측점에서 동시에 측정을 실시하였다. 지표면 온도, 0.13 m, 3.0 m의 온도 비교를 Fig. 6 (a, b, c)에 나타내었다. Fig. 6 (a, b)은 지표면과 0.13 m의 기온이 아스팔트와 목초지에서 큰 차이를 보이고 있다. 낮에는 목초지의 온도가 고온이고, 초



(a) Surface temperature [°C]



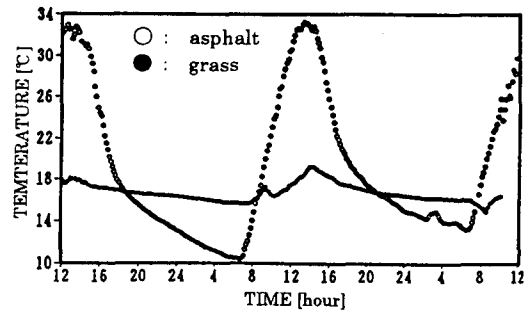
(b) Dry temperature of 0.13 height [°C]



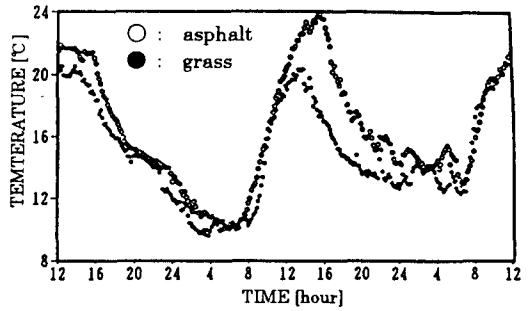
(c) Dry temperature of 3.0 height [°C]

Fig. 6. Comparison between observed of asphalt and grass dry temperature.

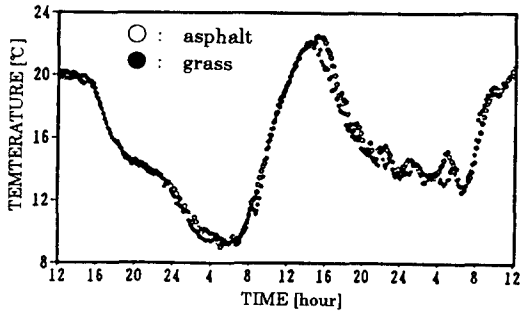
저녁부터 야간까지는 아스팔트의 온도가 목초지보다 고온임을 알 수 있다. 또한, 기온이 상승하는 pattern과 하강하는 pattern도 매우 다르고, 목초지가 아스팔트보다 온도 변화에 민감하다는 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 6b (0.13 m)의 야간에서 5°C 가 가까운 온도 차이가 나타나는 시간대도 있다. Fig. 6c (3.0 m)의 기온을 보면 주간에는 목초지의 온도가 Asphalt 보다 높고, 야간에는 낮으며, 바람의 영향도 잘 받고 있다는 것을 알 수 있다. 야간, 목초



(a) Surface temperature [°C]



(b) Dry temperature of 0.13 height [°C]



(c) Dry temperature of 3.0 height [°C]

Fig. 7. Comparison between observed of asphalt and pond dry temperature.

지에 바람이 약하게 불면, 초안정상태가 되지만, 바람이 강하게 불게 되면, 지표면의 근처에서 온도가 상승하여 중립상태에 도달하게 된다. 이것은 목초지의 면적이 좁아 주위의 영향이 목초지까지 미치고 있음을 시사하고 있다.

3.2.2 아스팔트 (Asphalt)와 연못 (Pond)

11월에 아스팔트와 연못의 관측점에서 동시 측

정을 하였다. 지표면 온도, 0.13 m, 5.0 m의 온도 비교를 Fig. 7 (a, b, c)에 나타내었다. 지표면 온도와 수면 온도의 비교에서 수온의 온도는 하루종일 거의 변화가 없음을 알 수 있다 (Fig. 7a). 따라서, 낮에는 아스팔트가 고온이고, 야간에는 연못이 고온이다.

Fig. 7b (0.13 m)의 기온은 낮에 아스팔트가 매우 높은 온도 분포를 나타내고 있으며, 야간의 표면 부근의 온도는 연못이 높다. 그리고, Fig. 7c (5.0 m)의 아스팔트와 연못의 기온 차이는 거의 없다. 그것은 5.0 m 높이까지 연못의 영향이 도달하지 않음을 알 수 있다.

4. Businger 경험식과 관측값과의 비교

4.1 기초방정식

풍속 및 기온의 평균값의 연직분포를 생각함에 있어서 Monin-Obkhohv (1954)의 상사치를 적용한다. 우선, 평균 풍속의 연직구배 $\partial U/\partial z$ 에 대해 마찰속도 ($u_* \equiv (-\overline{uw})^{1/2}$), 마찰온위 ($T_* \equiv -\overline{\theta w}/u_*$), Monin-Obkhohv 길이($L \equiv -u_*^3 \Theta/xgQ_0$)를 무차원화하면 그것은 무차원화된 높이 z/L 의 함수로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial(U/u_*)}{\partial(z/L)} = \frac{1}{x} g_m\left(\frac{z}{L}\right) \quad (1)$$

식 (1)을 정리하면,

$$\frac{\partial U}{\partial z} = \frac{u_*}{xL} g_m\left(\frac{z}{L}\right) \quad (2)$$

식 (2)가 된다.

여기서, u_* 는 마찰속도, T_* 는 마찰온위, (\overline{uw})는 운동량 flux, ($\overline{\theta w}$)는 온위 flux, z 은 높이, U 는 풍속, x 는 Karman정수 (=0.4) 이고, ζ 은 안정도 parameter이다. $g_m(\zeta)$ 은 상사치에서 $\zeta(z/L)$ 의 보편함수이다. 결국, 이 상사치의 전제조건이 만족한다면, 장소와 안정도에 관계없이, 평균속도의 연직구

배는 모두 $g_m(\zeta)$ 에 의해 동일하게 나타낼 수 있다. 또한, 평균기온의 연직구배 $\partial\Theta/\partial z$ 에 대해서도, 풍속의 경우와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial(\Theta/T_*)}{\partial(z/L)} = \frac{1}{x} g_h\left(\frac{z}{L}\right) \quad (3)$$

식 (3)을 정리하면,

$$\frac{\partial\Theta}{\partial z} = \frac{T_*}{xL} g_h\left(\frac{z}{L}\right) \quad (4)$$

여기서, $g_h(\zeta)$ 은 평균기온에 대한 보편함수이다. 또한, 보편함수 $g_m(\zeta)$ 및 $g_h(\zeta)$ 의 외에, 식 (5), (6)으로 나타낸 $\phi_m(\zeta)$ 및 $\phi_h(\zeta)$ 도 보편함수로서 잘 이용되고 있다.

$$\phi_m(\zeta) \equiv \frac{xz}{u_*} \frac{\partial U}{\partial z} \quad (5)$$

$$\phi_h(\zeta) \equiv \frac{xz}{T_*} \frac{\partial\Theta}{\partial z} \quad (6)$$

평균풍속 U 의 profile은 식 (2)을 z 에 대해 적분하면,

$$U(z) = \frac{u_*}{x} [\Psi_m\left(\frac{z}{L}\right) - \Psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right)] \quad (7)$$

식 (7)과 같이 구할 수 있다. 여기서, z_0 은 적분 상수이고, U 는 조도 높이의 값을 나타낸다. 또한, 식 (7)은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(z_2) - U(z_1) = \frac{u_*}{x} [\Psi_m\left(\frac{z_2}{L}\right) - \Psi_m\left(\frac{z_1}{L}\right)] \quad (8)$$

여기서, z_1 및 z_2 은 관측점의 높이를 나타내고 있다. 한편, 기온에 대해서도 풍속과 같이 식 (9)을 얻을 수 있다.

$$\Theta(z_2) - \Theta(z_1) = \frac{T_*}{x} [\Psi_h\left(\frac{z_2}{L}\right) - \Psi_h\left(\frac{z_1}{L}\right)] \quad (9)$$

4.2 보편함수 ϕ_m 및 ϕ_h 의 Businger 경험식

보편함수에 대해서는 여러형태의 경험식이 제안되고 있지만, 이 논문에서는 Businger et al. (1971)의 경험식을 이용했다. ϕ_m , ϕ_h 의 불안정한 상태 ($\zeta \leq 0$)에서 식 (10), (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_m = 1.14 (1 - 1.31 \zeta)^{-1/4} \quad (10)$$

$$\phi_h = 0.84 (1 - 7.9 \zeta)^{-1/2} \quad (11)$$

식 (10), (11)을 무차원화한 Ψ_m , Ψ_h 로 나타내면,

$$\begin{aligned} \Psi_m\left(\frac{z}{L}\right) - \Psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right) &= 1.14 [\ln(z/z_0) - (-2 \ln(1+X) \\ &\quad - \ln(1+X^2) + 2 \arctan(X))] \zeta_0 \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi_h\left(\frac{z}{L}\right) - \Psi_h\left(\frac{z_0}{L}\right) &= 0.84 [\ln(z/z_0) - (-2 \ln(1+Y))] \zeta_0 \quad (13) \end{aligned}$$

여기서, $X = (1 - 13.5 \zeta)^{1/4}$,
 $X_0 = (1 - 13.5 \zeta_0)^{1/4}$,
 $Y = (1 - 7.9 \zeta)^{1/2}$,
 $Y_0 = (1 - 7.9 \zeta_0)^{1/2}$,
 $\zeta_0 = z_0/L$ 이다.

4.3 계산결과와 관측값과의 비교

4.3.1 아스팔트 (Asphalt)

마찰속도 u_* 은 3 m의 풍속값과 조도 높이 (Asphalt, Ground: 0.001, 목초지: 0.08)에서 풍속을 0으로 가정하여 구하였다. 또한 마찰온위 T_* 은 2곳의 관측점 기온을 이용하여 식 (4)에 의해 구했다. 계산은 주간의 불안정한 상태에서 가능한 온도차가 큰 것을 선택하여 계산에 이용하였다. 그러나, 안정 상태의 계산은 다소 문제점이 있어 본 논문에서는 취급하지 않았다.

Asphalt은 하루종일 불안정한 상태의 온도 분포

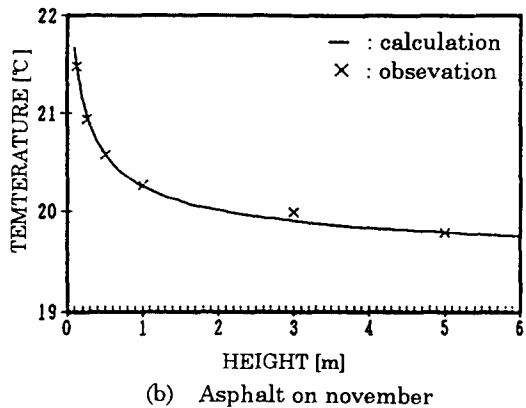
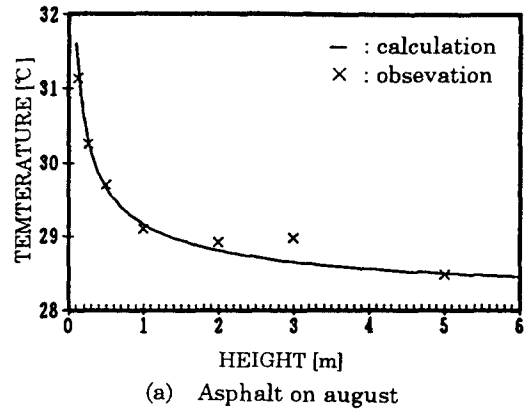


Fig. 8. Comparison between observed of asphalt dry temperature and calculated result using the Businger expression.

를 나타내고 있으며, 계산은 온도차가 큰 주간의 data만을 사용하였다. 관측점인 0.27 m와 5.0 m의 기온의 data를 이용하여 Businger 경험식의 보편함수를 계산하였다. Fig. 8 (a, b)은 계산값과 관측값을 비교한 것이다. 실선은 계산값이고 X는 관측값이다. 8월 (8a)의 계산값과 관측값의 비교는 11월 (8b)의 계산값과 관측값의 비교값보다 약간 오차가 있으나, 그것은 8월의 관측시 구름에 의한 일사량의 변동과 관측에서 나타나는 오차에 기인한 것이라 생각되어진다.

또한 11월 (8b)는 풍속의 평균값이 3 m/s에 가까운 비교적 강한 바람으로 지표면에 가까운 부근은 지표면 온도의 영향을 받아 기온이 상승하고, 지표면에서 멀리 떨어질수록 지표면의 영향을 거의 받

고 있지 않기 때문에 계산값과 관측값에 약간의 오차가 있음을 알 수 있다.

4.3.2 Ground

Ground의 계산에는 0.13 m와 3.0 m의 관측값을 이용하였다. 8월의 관측값은 불안정한 상태의 data가 대부분이나, 11월의 data는 고도간의 온도 차이가 거의 없는 중립 상태이기에 8월의 관측값만 계산에 이용하였다. Fig. 9는 계산값과 관측값을 비교한 것이다. 1.0 m와 5.0 m의 관측값이 계산값보다 낮고, 2.0 m에서는 관측값이 다소 높은 경향을 나타내고 있다. 그것은 Asphalt에서도 잠깐 언급한 바와 같이 관측기기와 관측에서 오는 오차에 기인한 것이라 생각할 수 있다. 일반적으로 Ground의 계산값은 관측값과 비교적 일치함을 알 수 있다.

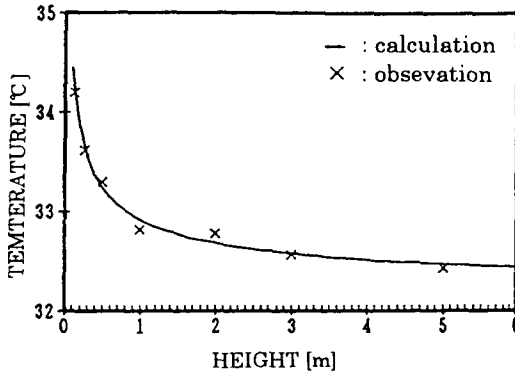
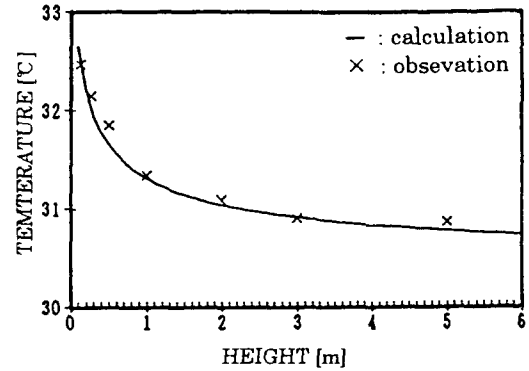


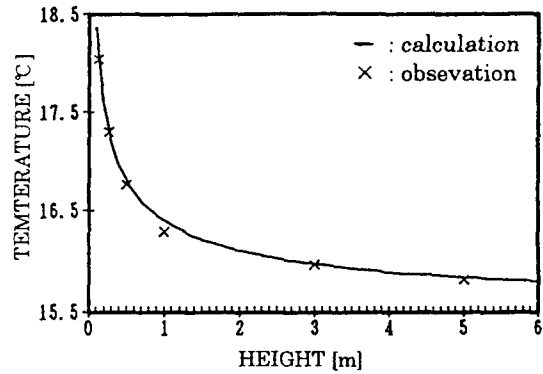
Fig. 9. Comparison between observed of ground dry temperature and calculated result using the Businger expression.

4.3.3 목초지 (Green)

목초지의 계산에도 Ground와 같이 0.13 m와 3.0 m의 관측값을 이용하였다. 목초지의 관측 대상 면적이 좁기 때문에 지표면의 영향이 5.0 m까지 미치지 않는다는 가정하에 3.0 m의 기온을 이용하였다. Fig. 10 (a, b)은 목초지의 8월과 11월의 계산값과 관측값을 비교한 것이다. 8월 (10a)의 관측값이 계산값보다 약간 높으나, 그것은 Asphalt와 Ground에서도 잠깐 언급한 바와 같이 관측기기에 기인



(a) Grass on august



(b) Grass on november

Fig. 10. Comparison between observed of grass dry temperature and calculated result using the Businger expression.

하는 오차라 생각할 수 있다. 11월 (10b)의 계산값은 관측값과 잘 일치함을 알 수 있다.

4.4 무차원화에 의한 비교

4.4.1 무차원화

식 (3)에서 $z_1 = |L|/2$, $z_2 = z$ 라고 하면, 식 (14)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{x}{T_*} \{ \Theta(z) - \Theta\left(\frac{|L|}{2}\right) \} \\ = \Psi_h\left(\frac{z}{L}\right) - \Psi_h\left(\frac{|L|}{2L}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

여기서, 불안정 상태의 무차원 profile의 경험식 (13)을 적용해서 $L < 0$ 보다 $|L|/2 = -1/2$ 로 된다면,

$$\Psi_k\left(\frac{z}{L}\right) - \Psi_k\left(\frac{|L|}{2L}\right) = 0.84 \left[\ln(-2\zeta) - 2 \ln \frac{1 + (1 - 7.9\zeta)^{1/2}}{1 + (1 + 7.9 \times 1/2)^{1/2}} \right] \quad (15)$$

식 (15)가 성립한다. 식 (15)은 안정도 ζ 의 함수이다. 여기서 가로축을 ζ 로, 세로축을 $x/T \cdot [\Theta(z) - \Theta(|L|/2)]$ 으로 놓으면, 식 (14) 및 식 (15)에서 Businger의 보편함수에 기초한 분포를 얻을 수 있다. 이러한 방법으로 얻어낸 값과 field 관측에서 구한 $\zeta, x/T \cdot [\Theta(z) - \Theta(|L|/2)]$ 을 비교한다.

4.4.2 계산값과 관측값의 비교

계산에 사용한 관측값은 0.13 m와 5.0 m의 온도 차이가 1°C 이상의 불안정한 상태의 관측값을 무차원화한 Businger 경험식의 계산에 이용하였다.

Fig. 11은 Asphalt의 0.27 m와 5.0 m의 기온을 이용하여 계산한 것이다. 한편, 계산에 사용한 0.27 m와 5.0 m의 관측값은 Businger 경험식을 만족했기 때문에 무차원화한 계산값의 비교에는 사용하지 않았다. Fig. 11a는 계산값과 0.13 m의 관측값 (*)이 약간 오차가 있으나, 그것은 0.13 m (11월)의 기온이 매우 높았기 때문에 나타난 것이라 생각되어진다. (Fig. 2a 참조) 또한, 3.0 m (▲)의 오차는 관측기와 관측에서 발생하는 것이라 생각할 수 있다. 전체적으로, Asphalt에서 관측한 각 높이의 data는 무차원화한 Businger 경험식과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

또한, Fig. 11b는 목초지의 계산값과 관측값을 비교한 것이다. 목초지도 0.13 m와 3.0 m의 기온을 이용하여 계산하였다. 5.0 m의 관측값 (□)은 계산값과 다소 오차가 있으며, 그것은 지표면 온도의 영향이 5.0 m까지 미치지 않기 때문이라 생각된다. 목초지에서도 5.0 m의 관측값을 제외한 모든 관측

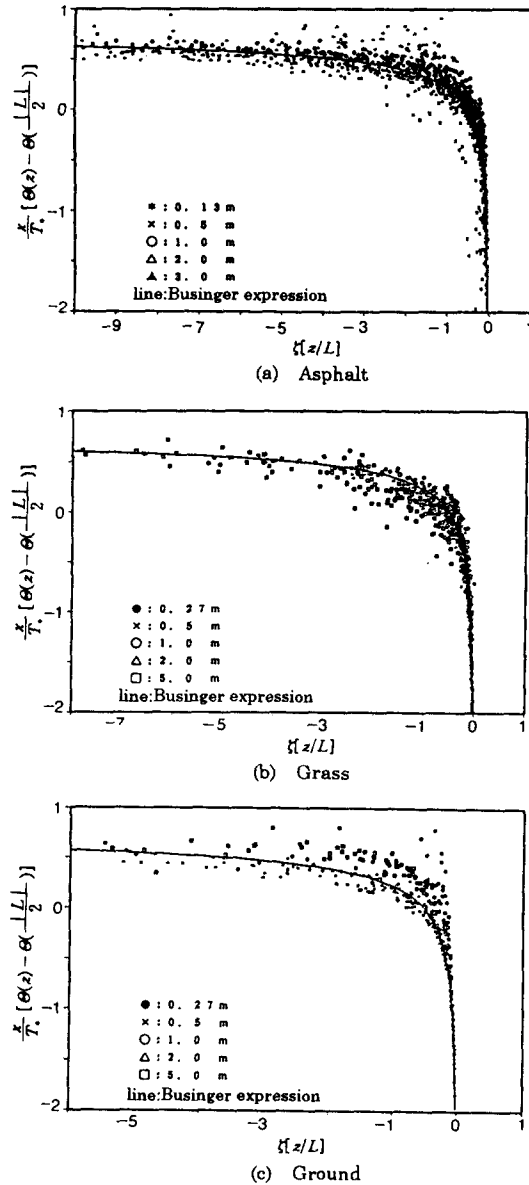


Fig. 11. Comparison between observed of asphalt, grass, ground and calculated result using the Businger expression. (Non-dimension)

값에서 무차원화한 Businger 경험식과 매우 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다.

그리고 Fig. 11c은 Ground의 계산값과 관측값을 비교한 것이다. Ground도 0.13 m와 3.0 m의 기온 (8월)을 이용하여 계산하였다. 1.0 m (O)와 5.0 m

(□)의 관측값은 계산값과 약간의 오차가 있으나, 그것은 관측기와 관측에서 발생하는 것이라 생각할 수 있다.

한편 Asphalt, 목초지, Ground에서 관측한 모든 data을 8월과 11월에 나누어서 비교하였다. Fig. 12은 8월과 11월의 관측값과 계산값을 비교한 것이다. Fig.에서 11월 (Fig. 12b)의 관측값이 8월 (Fig. 12a)의 관측값보다 오차가 적고, 무차원화한 Businger 경험식과 잘 일치함을 알 수 있다. 그것은 11월의 관측일이 맑은 날이 많고 어느정도의 바람이 불고 있으나, 8월의 관측일은 가끔씩 구름이 햇빛을 차단하여 일사량의 변동이 많아 온도분포가 일정하지 않으며, 바람도 11월에 비해 매우 약하게 불었던 것이 하나의 원인이라 생각된다.

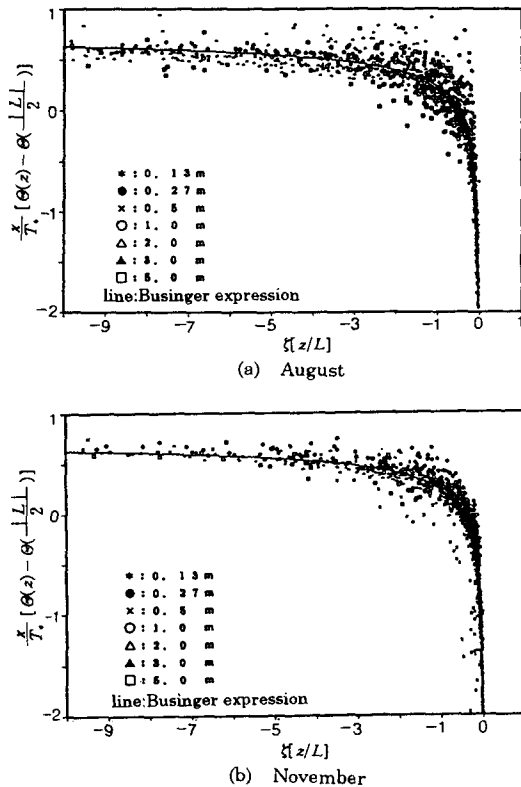


Fig. 12. Comparison between observed of asphalt, grass, ground on august (and november) and calculated result using the Businger expression. (Non-dimension)

5. 결론

본 논문에서는 지표면 구성요소 (Asphalt, Ground, Grass, Pond)에 의한 도시 기후에 미치는 영향과 Businger 경험식을 도시 지역에 적용할 수 있는가를 내용으로 관측과 수치계산을 하였다. 그 결과를 간단히 정리하면 다음과 같다.

8월의 관측에서는 Asphalt, Ground, 목초지가 주간에 불안정한 온도 분포를 형성하고 있으며, 야간에는 목초지만 안정한 온도 분포이고 Asphalt, Ground은 거의 온도차가 없는 중립 상태였다. 11월의 관측에는 Asphalt, 목초지가 8월의 관측값과 같은 결과이나, Ground에서는 주간에 온도차가 거의 없는 중립에 가까운 상태였다. 또한 연못은 하루종일 온도차가 없는 중립 상태였다.

Asphalt와 목초지, 그리고 연못의 동시 측정에서는, 목초지가 낮에 Asphalt 보다도 지표면 부근의 기온이 고온이고, 야간은 저온이 된다. 또한, 목초지와 연못은 측정면적이 적기 때문에 상공까지 지표면의 영향이 미치지 않음을 알 수 있었다.

주간의 불안정한 온도 분포는 Businger 경험식의 계산결과와 대체로 일치하였다. 그러므로, 지표면 구성요소가 다른 좁은 도시에서도 Businger 경험식을 적용할 수 있다는 것을 알았다. 특히 풍속, 일사량이 일정하게 계속되면, 기온의 연직 분포는 Businger 경험식과 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 끝으로 본 논문의 과제로서, 온도가 안정한 상태에서는 Businger 경험식을 적용할 수 없기 때문에, 안정한 상태에 적용할 수 있는 Model의 개발이 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

- Uno, I., H. Ueda and S. Wakamatsu, 1989, Numerical modeling of the nocturnal urban boundary layer. *Meteorol.*, 49, 77~98.
- Oke, T.R, 1981, Canyon geometry and the nocturnal urban island.-Comparison of scale mo-

도시 경계층의 연직구조에 관한 연구

- del and field observations-J, *Climatol.*, 1, 237~257.
- 竹内清秀, 近藤純正, 大氣講座1,-地表に近い大氣-, 東京大學出版局.
- Monin, A.S and A.M., Obukhov, 1954, Basic laws of turbulent mixing in the ground layer of the atmosphere, *Trans. Geophys. Inst. Akad. Nauk USSR*, 151, 163~187.
- Businger, J.A, J.C., Wyngaard and E.F., Bradley, 1971, Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmos. Sci.*, 28, 181~189.