

ORIGINAL ARTICLE

낙동강 강정고령보의 여름철 열수지 일변화 - 열 저장량 변동을 중심으로 -

김성락 · 조창범¹⁾ · 김해동*

계명대학교 지구환경학과, ¹⁾국립기상연구소 응용기상연구과

Daily Variation of Heat Budget Balance in the Gangjeong-Goryung Reservoir for Summertime - Concerning around the Rate of Heat Storage -

Seong-Rak Kim, Chang-Bum Cho¹⁾, Hae-Dong Kim*

Department Of Global Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

¹⁾Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Research, KMA, Jeju 697-845, Korea

Abstract

Surface heat balance of the Gangjeong-Goryung Reservoir is analyzed for 12-17 August 2013. Each flux elements at the water surface is derived from the special field observations with application of an aerodynamical bulk method for the turbulent heat fluxes and empirical formulae for the radiation heat fluxes. The rate of heat storage in the reservoir is estimated by using estimated by surface heating rate and the vertical water temperature data. The flux divergence of heat transport is estimated as a residual. The features of the surface heat balance are almost decided by the latent heat flux and the solar radiation flux. On average for 12-17 August 2014 in the Gangjeong- Goryung Reservoir, if one defines the insolation at the water surface as 100 %, 94 % is absorbed in the reservoir; thereafter the reservoir loses about 30~50% by sensible heat, latent heat and net long-wave radiation. The residue of 50~80 % raises the water temperature in the reservoir or transported away by the river flow during the daytime.

Key words : Heat balance, Heat storage, Heat transport, Sensible heat, Latent heat

1. 서론

2012년 4대강 사업의 완공 이후로 녹조현상의 심화와 수중 생태계의 변화를 둘러싼 사회적 논쟁이 이어지고 있다. 4대강 사업에 따른 녹조와 수중생태계 변화를 가져 온 수문학적 원인으로 대형 수중보의 건설에 따른 유속 저하와 그에 수반된 수온증가가 지목되고 있다. 특히

2014년 국정감사에서는 2013년 8월에 관측된 국립기상연구소의 자료를 바탕으로 여름철에는 낙동강의 주요 수중보의 수온이 온천수보다 높다는 지적이 있었다. 또 수심이 깊어질수록 수온과 기온 간에 상관도가 낮아지는 것으로 보아 하층의 수온은 기온에 영향을 받는 것이 아니라 보 건설로 인해 유속이 감소하여 수온이 상승한 것이라는 주장이 제기되기도 하였다(Hangyore, 2014).

Received 14 January, 2015; Revised 26 February, 2015;

Accepted 12 May, 2015

*Corresponding author : Hae-Dong Kim, Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-53-580-5930
E-mail: khd@kmu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이에 대하여 국립기상연구소에서는 낙동강 보의 수온이 여름철에 현저히 높게 나타난 것은 관측 일이 폭염정보 발령일 중으로 이상고온 일이었다는 것에 기인하며, 하층의 수온도 기온과 관계없이 고온을 보인 것이 아니라 지연 반응을 보인 것이라는 해명을 한 바 있다.

이러한 논쟁에 대한 사실관계를 검증하는 방법 중의 하나로 열수지 분석을 통해 보의 열적 기능을 파악하는 것을 들 수 있다. Yamamoto 등(1964, 1968, 1972)은 특별관측을 통하여 일본의 대표적인 호수를 대상으로 열적 기능을 평가한 바 있다. 그들은 호수의 연간 증발량을 관측하여 비교한 결과 호수의 깊이 규모에 따라서 연중 증발량이 다르다는 사실을 지적하였다. 수면의 열수지 분석은 주로 해양을 대상으로 수행되었는데(Oort와 Vonder, 1976; Nitta, 1976, Ishi and Kondo, 1993; Morison와 Niiler, 1998; Scherbina 등2003), 이들 연구는 특정 해역에서 대기-해양 간의 열수지 과정에서 얻어진 열이 저장된 후에 해류를 따라서 어떻게 수송되는가를 규명하는 데에 초점이 주어져 있다.

최근에 4대강 사업으로 건설된 보의 열적인 역할을 다룬 연구도 수행되고 있다. Kim 등(2013)은 강정고령보와 대구 성서산업단지의 기온자료를 이용하여 도시열섬강도의 계절변화 특성을 분석하여 강정고령보의 여름철 강한 증발효과로 인하여 도시열섬강도가 다른 지역과 달리 여름철 한낮에 가장 강하게 나타난다는 사실을 지적한 바 있다. Kim 등(2014)은 강정고령보의 4계절에 걸친 현열과 잠열의 변화 특성을 이용하여 보의 수심변화에 따른 열적 기능의 변화를 지적하는 연구결과도 제시되고 있다. 우리나라에서도 근해의 해수면 열수지를 다룬 연구가 활발히 수행되고 있다(Kim과 Yang, 1995; Joo, 1997; Choo, 2013). 하지만 우리나라의 내륙 수면 지역을 대상으로 수행된 수면 열수지 해석의 사례는 Lee 등(2002, 2013)이 댐에서의 증발량 자동 관측 자료를 분석하여 잠열의 일변화를 조사한 것 등의 사례를 제외하면 찾아보기 어렵다.

이러한 배경에서 이 연구에서는 강정고령보에서 수행된 특별관측 자료를 이용하여 여름철 동안 강정고령보의 수면 열수지 특성을 분석하여 보고자 한다. 이 연구를 통하여 보의 열저장이 가장 왕성하게 이루어질 것으로 예상되는 여름철에 보의 열적인 기능을 파악해 볼 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 2014년 겨울에 예정되고 있는

특별관측이 이루어지면 4계절에 걸친 열수지 분석을 수행하여 보의 열적인 역할을 파악할 수 있을 것으로 생각된다. 이에 대한 연구는 향후 과제로 예정하고 있다.

2. 자료와 연구방법

2.1. 자료

국립기상연구소 응용기상연구과에서는 강정고령보, 칠곡보, 구미보를 대상으로 상시관측에 더하여 2013년부터 2014년까지 겨울을 제외한 3계절을 대상으로 각 1주일 정도의 기간에 걸쳐서 집중관측을 수행해 오고 있다. 수온은 강상표면, 수중 50 cm, 수중 100 cm의 3개 깊이에서 수행되고 기온과 습도는 강의 수면으로부터 보 높이(12 m)까지 3 m 간격으로 고도별로 관측되었다. 수온과 기온의 특별관측은 Fig. 1에 강정고령보에서 이루어진 특별관측지점을 제시하였다.

이 연구에서는 폭염경보가 내려진 가운데 관측이 이루어져 여름철 강정고령보의 열적 역할을 제대로 파악할 수 있었던 2013년 8월 12일 09시부터 17일 10:00까지 2분 간격으로 관측된 자료를 이용하였다. 그리고 열수지 계산에서 요구되는 운량자료는 강정고령보에서 가장 가까운 기상관측소인 대구기상대의 자료를 이용하였다.

2.2. 연구방법

수면 상에서 대기와의 열 교환 과정으로 성립하는 열수지 관계를 정리하면 Fig. 2와 같다.

즉 수면은 태양복사에너지((1- α)S)와 대기 장파복사 에너지(L)를 흡수하고, 현열(H), 잠열(LE) 및 지구장파 에너지(σT_s^4)의 형태로 대기 중으로 에너지를 재 방출한다. 그리고 남은(부족한) 에너지는 수중 저장 열(G)로 저장(방출)되거나 강의 하류로 방출(F)된다. 이를 관계식으로 나타내면 다음과 같다. 이 연구에서는 수심에 따른 수온관측이 100 cm 까지만 이루어졌기 때문에 수중 저장 열과 하류로의 방출을 이론적으로 계산할 수가 없었다. 그래서 이들 2개 항을 잔차 항으로 처리하였다.

$$(1-\alpha)S+L = H+LE+G+\sigma T_s^4+F \quad (1)$$

여기서, α 는 수면의 알베도인데 Kondo와 Miura (1985)를 따라서 중위도 지역의 8월 평균 값인 6%를 가

여기서, e 는 일평균의 수증기압(hPa)인데, 아래에서 제시하는 Tetten의 방법으로 구하였다. 그리고 N_r/N 은 하루 중에서 강수가 지속된 시간, n , n_1 , n_2 , n_3 는 각각 전운량, 하층, 중층 및 상층운량이다. 또, 중층운과 상층운 자료의 부족을 해결하기 위하여, Ishi와 Kondo (1993)에 의해 제안된 다음의 근사관계를 적용한다.

$$n_2 = n_3 = (n - n_1)/2 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} N_r/N &= 0, \text{ for } n_1 < 1 \\ &= 0.5, \text{ for } n_1 = 1 \end{aligned} \quad (6)$$

현열과 잠열수송량은 bulk식을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = C_p \rho C_H U (T_s - T_a) \quad (7)$$

$$LE = l \rho \beta C_H U (q_{sat}(T_s) - q_a) \quad (8)$$

단, C_p 는 공기의 정압비열($1004 \text{ J/(kg} \cdot \text{deg)}$), ρ 는 공기의 밀도(1.27 Kg/m^3) $C_H U$ 는 현열의 수송속도, l 은 증발잠열($2.51 \times 10^6 \text{ J/kg}$), β 는 지표면의 습윤도(증발효율), T_s 는 지표면온도(K), T_a 는 기온(K), q_a 는 대기 중의 비습, $q_{sat}(T_s)$ 는 T_s 에 대한 포화비습이다. 비습의 계산은 Kim과 Yang (1995)을 포함한 여러 연구에서 널리 사용하고 있는 Tetten의 공식으로 계산된 포화수증기압을 이용하였다. Tetten의 공식은 다소 복잡하여 사용이 불편한 Clausius-Clapeyron의 포화수증기압 계산식 대신에 보다 간단하게 사용할 수 있도록 만든 경험적 실험식이다(김영섭 등, 2003).

$$e_s = 6.11 \times \exp\left(\frac{17.27 \times T_c}{T_c + 273 - 35.86}\right) \quad (9)$$

여기서, e_s 는 포화수증기압이고, T_c 는 기온에 대한 섭씨온도($^{\circ}\text{C}$)이다. 그리고 실제로 공기가 포함한 수증기가 나타내는 수증기압은 위에서 계산한 포화수증기압에 자동기상관측장치(AWS, Automatic Weather observation System)에서 측정된 상대습도를 곱하여 구할 수 있다.

$$e = e_s \cdot RH \div 100 \quad (10)$$

여기서, e 는 수증기압(hPa), RH 는 상대습도(%)이다. 이렇게 구한 수증기압을 이용하면, 비습은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$q \approx 0.622 \frac{e}{P} \quad (11)$$

여기서 P 는 대기압(hPa)이다. 열수지 계산에 이용된 기상관측자료는 일사량, 운량, 기온, 지표면온도, 대기압 및 대기의 상대습도이다. 그리고 수면 파라메타로는, 알베도(α), 현열의 수송속도($C_H U$), 수면의 습윤도($\beta=1$)이다. 또 수중 열 저장량(G)은 다음의 식으로 정의할 수 있다(Kondo 와 Miura, 1985).

$$G = \int_0^b c \rho \frac{dT}{dz} dz \quad (12)$$

여기서 $c(=4,218 \text{ J/kg} \cdot \text{K})$, $\rho(1000 \text{ kg/m}^3)$ 는 각각 담수의 비열과 밀도이고 T 는 깊이에 따라서 변하는 수온, t 는 시간, z 는 수면에서 연직 방향으로 측정된 수심이다. b 는 물 바닥 깊이이다. 따라서 G 는 수면 하의 평균 수온상승을 가져오는 단위 시간당의 열량으로 시간별로 구할 수 있다. 이 연구에서는 수심 100 cm까지의 수온자료밖에 없어서 G 값을 이 수식으로 바로 계산하기에는 무리가 있었다. 그래서 수송 항과 함께 열수지 방정식에서 잔차 항으로 구하기로 한다.

3. 결과

특별관측 기간 중에 수면으로부터 3 m 고도에서 관측한 기온과 상대습도를 시간 평균하여 각각 Fig. 3과 4에 나타내었다. 일 최고기온은 16시경에 약 34.5°C 로, 일 최저기온은 6시경에 약 25.2°C 로 나타났다. Kim 등(2014)은 대구의 도심지역에서는 여름철 일 최고기온이 14~15시 경에 출현한다고 지적한 바 있는데, 강정고령보에서는 수변의 높은 열용량에 의한 열적 스펀지효과로 일 최고기온의 출현시각이 1~2시간 정도 지연되어 나타나는 것으로 판단된다. 그리고 일 최저기온과 일 최고기온의 중간온도(약 30°C)에 도달하는 시각은 10시 30분경으로 추정되어 Kim 등(2014)이 제시하고 있는 대구 도심에

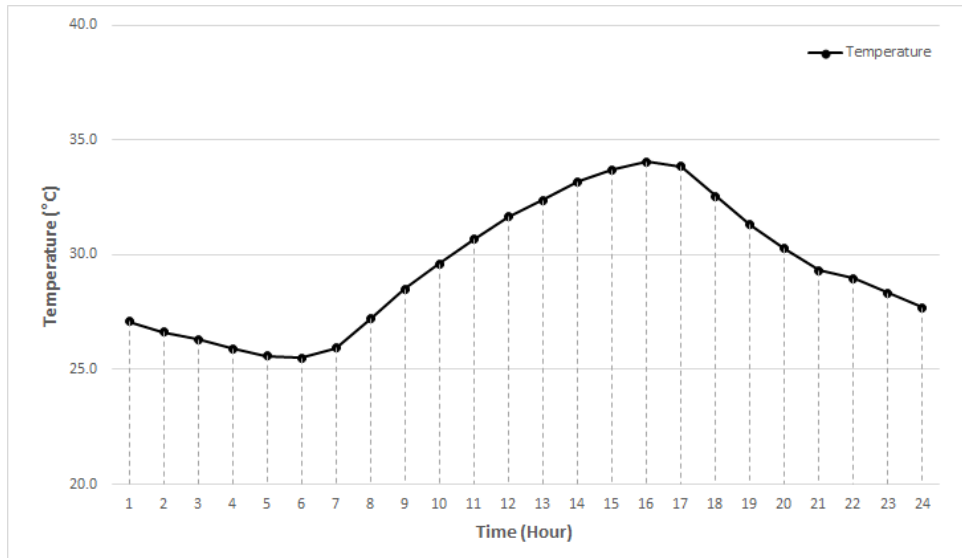


Fig. 3. Time variations of air temperature at 3 m for the special field observation period.

비하여 0.5~1시간 정도 늦는 것으로 평가된다. 이러한 지연도 강정고령보가 도심의 지표면보다 높은 열용량을 갖는 것에 기인한다.

상대습도의 시간 평균 분포(Fig. 4)를 살펴보면 2시부터 7시경까지 90% 이상으로 매우 높은 값을 보였으며, 6 시에는 약 95%에 이르렀다. 흡습성이 강한 에어로졸이 풍부한 지역에서는 상대습도 90% 이하에서도 작은 물방울이 생성되어 안개가 발생할 수 있으므로(Aguado와

Burt, 2001) 이 시간대에서 국지적으로 안개가 발생하였을 가능성이 높을 것으로 판단된다. 이 문제에 대해서는 향후 현장의 시정자료를 분석하여 다루어보고자 한다.

가장 낮은 상대습도는 최고 기온이 나타나는 16시경에 나타났는데, 그 값은 약 57%이었다. 하지만 실제 대기 중의 수증기량은, 한낮의 포화수증기압은 약 36hPa에 이르고 상대습도가 낮은 심야와 새벽시간에는 약 22hPa이라는 점을 고려하면 상대습도가 높게 나타나는 야간과

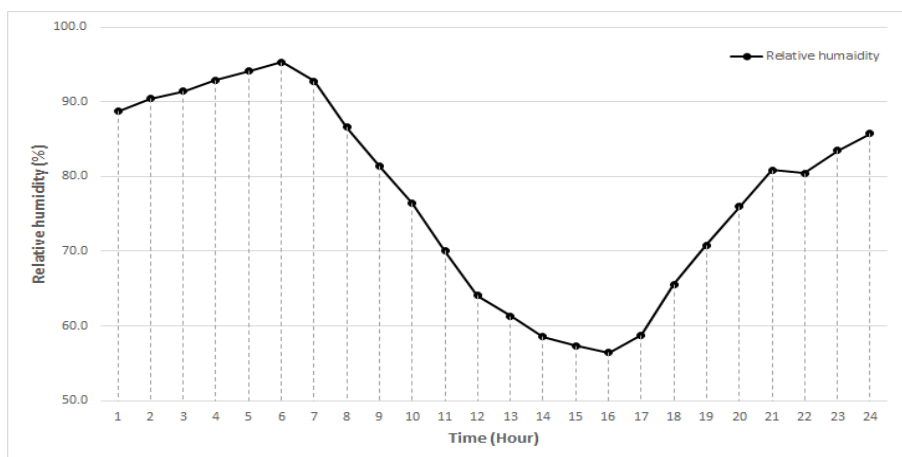


Fig. 4. Time variations of relative humidity at 3 m for the special field observation period.

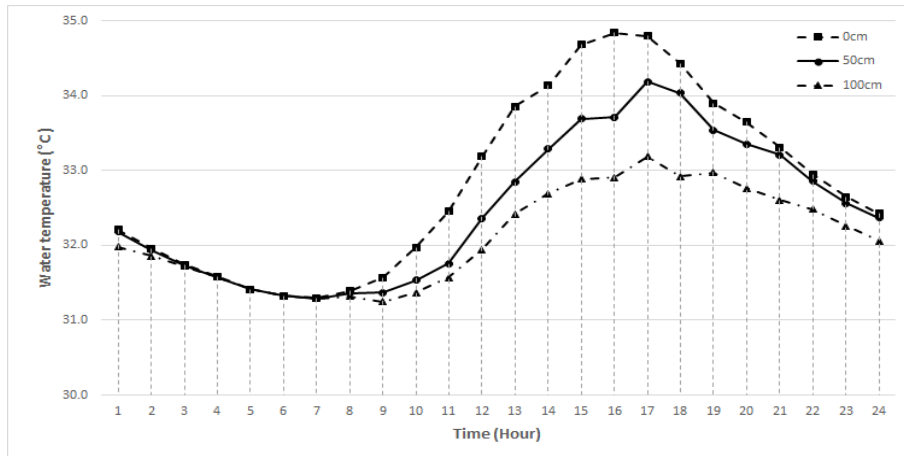


Fig. 5. Time variations of water temperature at each depth(0 cm, 50 cm, 100 cm) during the special field observation period.

새벽시간대가 아니라 수면이 태양에너지를 많이 받아서 증발이 크게 발생하는 낮 시간대에 더 많다는 것을 알 수 있다.

특별 관측기간 동안에 수심별 시간 평균 수온 값을 Fig. 5에 제시하였다. 수면의 일 최고온도가 수면 위 3 m 고도에서의 일 최고기온(Fig. 3)과 거의 같게 나타났으며 수온의 시간변화 위상도 기온과 거의 같았다. 이는 수체의 혼탁도가 높아서 일사량이 표층에서 많이 흡수된 결과로 추정된다. 반면에, 50 cm와 100 cm 깊이에서는 기

온의 일변화에 대하여 시간지연이 나타나서 일최고기온 출현 시각보다 1시간 늦은 17시에 일 최고수온이 나타났다.

하루 중에 표면수온이 가장 낮은 시각은 7시로 기온보다 1시간 늦게 나타났고, 그 값은 약 31.4 °C이었다. 표면 수온의 일교차는 약 3.4°C로 기온의 약 1/3 수준이었지만 혼탁도가 낮고 수심이 깊은 호수나 해양에 비하면 상당히 높은 값이다. 수심이 깊어질수록 일 최저 수온의 출현 시각이 더 늦어지고 일교차도 크게 줄었다. 이러한 결

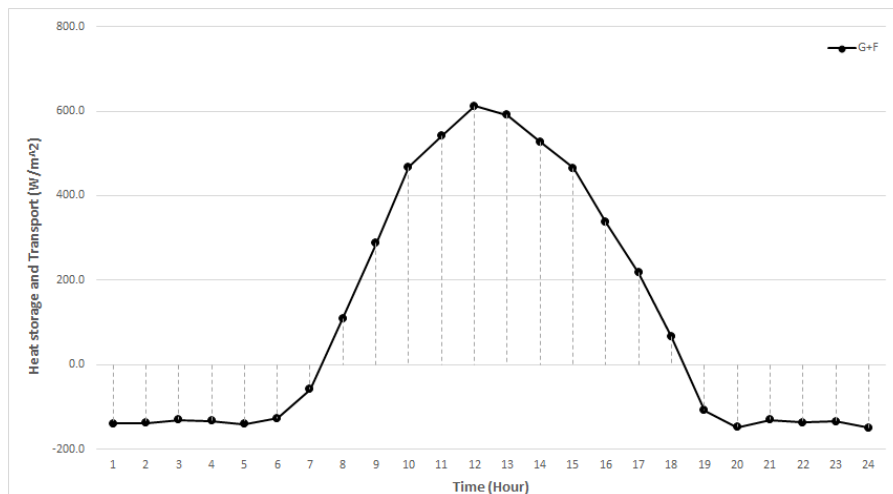


Fig. 6. Time variations of the rate of heat storage and transport in the reservoir during the special field observation period.

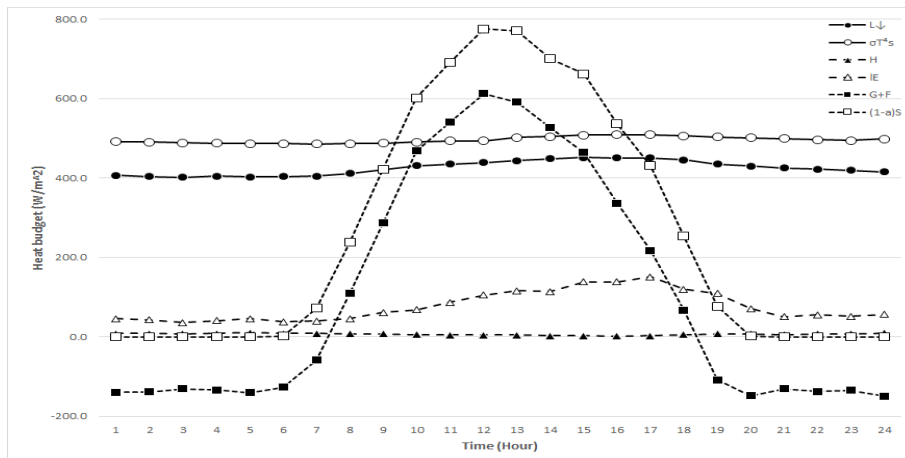


Fig. 7. Time variations of the heat budget terms estimated air temperature during the special field observation period.

과는 물의 높은 열용량 특성과 이곳의 수체 혼탁도가 높아서 일사량의 수중 침투량이 얇은 표층 내에서도 많이 감소한 영향으로 판단된다.

Fig. 5에서 확인할 수 있듯이, 이번 관측에서는 수심 100 cm까지 수온을 측정하였는데, 그 깊이에서도 수온의 일교차가 약 2°C로 크게 나타났다. 따라서 수심 100 cm보다 깊은 곳의 열 저장량의 시간 변화를 직접 계산하는 것은 무리한 것으로 판단되었다. 그래서 이 연구에서는 열저장량과 하류로의 열전달 값을 열수지 식에서 잔차항으로 추정하기로 하였다. 그 결과를 Fig. 6에 제시하였다. 20시부터 다음날 6시까지의 열이 대기로 전달되고, 그 이외의 시간에는 열이 저장되고 하류로 수송되는 것으로 평가되었다.

낮 시간 동안에는 순복사량의 약 50~80%가 저장 또는 수송되고, 야간에는 수중에 저장되었던 열이 장파복사만이 아니라 현열과 잠열의 형태로 대기로 전달되고 있는 것을 알 수 있다. 일사량이 공급되는 7~18시 사이에는 열이 저장되고, 일사량이 없는 야간 시간대에는 수중에 저장되었던 열이 대기로 공급되는 것을 확인할 수 있다.

특별관측 기간 동안에 열수지 각항의 시간평균 값을 Fig. 7에 나타내었다. 순장파복사량은 낮에는 하향복사, 야간에는 상향복사량이 약간 많은 것으로 나타났는데, 그 차이는 작았다. 현열과 잠열은 모든 시간대에서 수면에서 대기로 전달되었다. 잠열은 15~18시에 가장 많이

서 약 150 W/m²로 평가되었고, 현열은 이보다 훨씬 작았다. 하향장파와 상향장파복사량의 차이가 작아서 낮 시간 동안의 순복사량의 대부분은 수면에 도달된 일사량으로 결정되었다. 이 순복사량의 약 30~50%가 잠열과 현열로 대기로 돌아가고 남은 50~80%는 저장되거나 하류로 수송되었다. 그 결과로 표층 수온의 시간변화가 한낮에 대단히 크게 나타났다. 그 결과로 Fig. 5에서 확인할 수 있듯이, 수체의 낮 동안의 온도 상승이 표층에서 약 3.4°C에 이르렀고, 수심 1 m에서도 약 2°C에 이를 만큼 크게 나타났다.

이러한 에너지 재분배 비율은 Kondo(1976)가 1974년에서 1975년에 걸쳐서 남중국해에서 수행된 기단변질 실험 결과를 분석하여 얻은 결과와 대체로 유사한 것으로 판단된다. 한편 자료 분석기간 동안에 현열이 작게 평가되었는데, 그 원인은 Fig. 3과 5에서 확인할 수 있듯이 수온과 기온의 차이가 매우 작았던 것에 기인한다. 기온과 표면수온의 차이가 작고 수온의 시간지연효과도 나타나지 않아서 두 변수 사이의 상관관계가 0.88로 나타날 정도로 거의 동조화하여 변한 것으로 확인되었다.

이러한 사실로부터 강정고령보에서는 녹조의 변창 등의 원인으로 물의 혼탁도가 높아서 일사에너지가 표층에서 많이 흡수되어 열로 전환되는 비중이 높다는 사실을 추정할 수 있다. 이러한 추정을 가능하게 하는 추가적 근거로 Fig. 5에서 한낮에 표층과 50 cm 깊이의 수온이 1°C 이상 큰 차이를 보인다는 사실을 들 수 있다. Takeuchi와

Kondo(1981)에 의하면 혼탁도가 낮은 수체는 수심 수 m 이내에서는 깊이에 따른 수온변화가 여름철에는 매우 작은 것으로 알려져 있는데, 강정고령보는 혼탁도가 높아서 이와 많이 다른 양상을 보인 것으로 판단된다.

4. 결론

대구지역에 폭염경보가 지속되는 이상고온의 여름이었던 2013년 8월 12에서 17일까지 국립기상연구소 응용연구과에서 수행한 강정고령보의 수온과 기상자료를 이용하여 열수지 분석을 수행해 보았다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 특별 관측 기간 동안에 시간 평균한 수면 위 3 m 고도 상에서의 일 최고기온은 16시 경에 약 34.5℃, 일 최저기온은 6시경에 약 25.2℃로 나타나서, 기온의 일교차가 약 9.5℃에 이르렀다. 표층수온의 일 최고수온은 16시경에 약 34.8℃, 일 최저수온은 7시경에 약 31.4℃로 나타났으며, 그 결과로 일교차가 약 3.4℃로 평가되었다.

2) 순장파복사량은 하향복사와 상향복사의 크기가 거의 같았다. 그래서 순복사량의 크기는 순단파복사량과 거의 같게 나타났으며, 낮 동안에 순복사량의 약 30~50%가 잠열과 현열로 소비되고 남은 양은 수중에 저장되거나 하류로 수송된 것으로 평가되었다. 이렇게 큰 수중 저장 열로 인하여 강정고령보의 수온은 낮 시간동안에 수심 1 m 이하에서도 2℃ 이상의 높은 상승이 확인되었다. 반면에 태양복사에너지가 없는 야간에는 약 20~30 W/m²의 저장 열이 잠열과 현열의 형태로 대기 중으로 방출되는 것으로 평가되었다.

3) 강정고령보에서 수심 1 m 이내의 표층에서 여름철 낮에 깊이에 따른 수온차이가 2℃이상으로 컸고, 깊이에 따라서 수온변화의 시간지연효과(time lag effect)도 크게 나타났다. 그 결과로 기온과의 상관도가 표층에서 0.88, 50 cm에서 0.69, 1 m에서 0.37로 크게 낮아졌다. 이는 강정고령보의 표층 혼탁도가 높아서 태양에너지의 수중전달이 작은 것에 기인하였던 것으로 추정된다.

감사의 글

이 연구는 국립기상연구소 주관의 『응용기상기술개발연구』의 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCE

- Choo, H. S., 2013, Introduction of Marine Meteorology, Chonnam University Press, Kwang Ju, 37-50
- Hankyoreh, 2014, <http://www.hani.co.kr>, The water temperature in the Reservoirs of Nakdong River is higher than that of hot-spring(5 October 2014).
- Ishi, T., Kondo, J., 1993, Seasonal variation of heat balance in the East China Sea and Its vicinity - ocean heat transport and ocean storage of heat-, Tenki, 40, 309-324.
- Joo, Y. H., 1997, The Seasonal variation of the heat budget in Deukryang Bay, Master Thesis, Pukyung University, Busan, Korea, 47.
- Kim, H. D., Yang, S. K., 1995, Surface heat budget of the northern sea of Cheju Island for June-August 1993 and 1994, Journal of the Korean Environmental Sciences Society, 4, 197-206.
- Kim, K. Y., Byon, J. Y., Kim, H. D., 2013, Heat island intensity in Seongseo, Daegu, South Korea - a rural suburb containing large areas of water, Journal of Environmental Science International, 22, 1337-1344.
- Kim, Y. S., Kim, K. I., Ha, K. J., Um, H. H., 2003, Meteorological Dynamics Essence, Sigma Press, Seoul, 58-61.
- Kondo, J., 1976, Parameterization of turbulent transport in the top-meter of the ocean, Journal of Physical Oceanography, 6, 712-720.
- Kondo, J., Miura, A., 1985, Surface heat budget of the western Pacific for May 1979, Journal of the Meteorological Society of Japan, 63, 633-646.
- Kondo, J., 1994, Meteorology for water environment, Asakusa Press, Tokyo, 160-184.
- Lee, B. Y., 2002, Daily variation of evaporation observed by a large-sized vaporimeter, Journal of the Korean Meteorological Society, 12, 196-199.
- Lee, J. J., Lee, B. Y., Lee, H. S., Kim, Y. K., 2013, Automatic observation of evaporation amount over a Dam, Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, 22, 63-65.
- Moison, J. R., Niiler, J. J., 1998, The seasonal heat budget of the North Pacific net heat flux and heat storage rates, Journal of Physical Oceanography, 8, 401-421.
- Oort, A. H., Vonder, T. H., 1976, On the observed

- annual cycle in the ocean-atmosphere heat balance over the northern hemisphere, *Journal of Physical Oceanography*, 6, 781-800.
- Park, M. H., Kim, H. D., 2011, Evaluation of mitigation effect of Upo-Swamp on the air temperature variation with nighttime cooling rate, *Journal of the Korean Environmental Sciences Society*, 20, 309-319.
- Scherbina, A. Y., Talley, L. D., Rudinick, 2003, Direct observations of North Pacific ventilation: brine rejection in the Okhotsk Sea *Science*, 302, 1952-1955.
- Takeuchi, K., Kondo, J., 1981, *Boundary meteorology*, Tokyo University Press, Tokyo, 107-137.
- Yamamoto, G., Kondo, J., 1964, Evaporation from Lake Towada, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 42, 85 - 96.
- Yamamoto, G., Kondo, J., 1968, Evaporation from Lake Nojiri, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 46, 166 - 177.
- Yamamoto, G., Chein, T., Yasuda, N., Kondo, J., 1972, Evaporation from deep lakes in Japan, *Journal of Meteorological Society of Japan*, 50, 423 - 430.