

# 차드호의 운명

: 대기열역학적 계산을 통한 차드호의 증발률과 면적 변화

6조

강수민 김민유 신동민

View of Lake Chad



# Contents

**#1.** Characteristics of Lake Chad

**#2.** Evaporation Rate of Lake Chad

**#3.** Calculation & Result



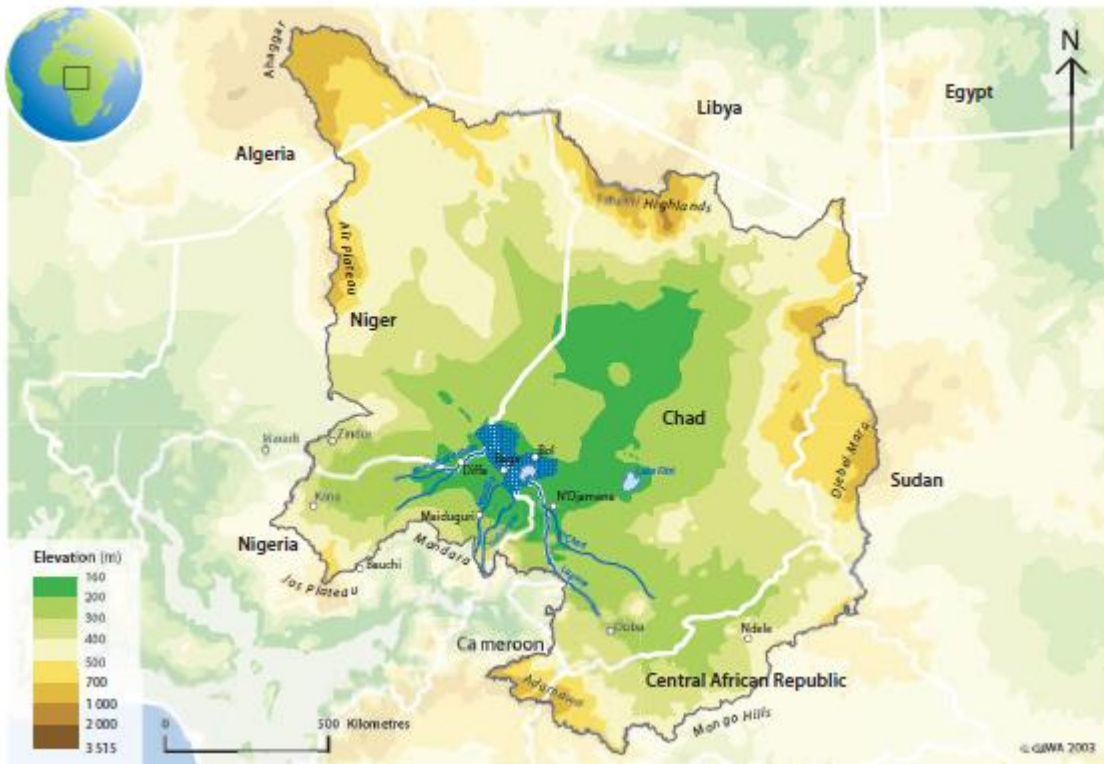
A black and white satellite photograph of Lake Chad, showing its irregular shape and surrounding land. The lake is the central dark feature, with a large, dark, triangular-shaped landmass to its upper left. The surrounding terrain is lighter and shows some texture.

#1.

# Characteristics of Lake Chad

October 1963,  
Argon Satellites

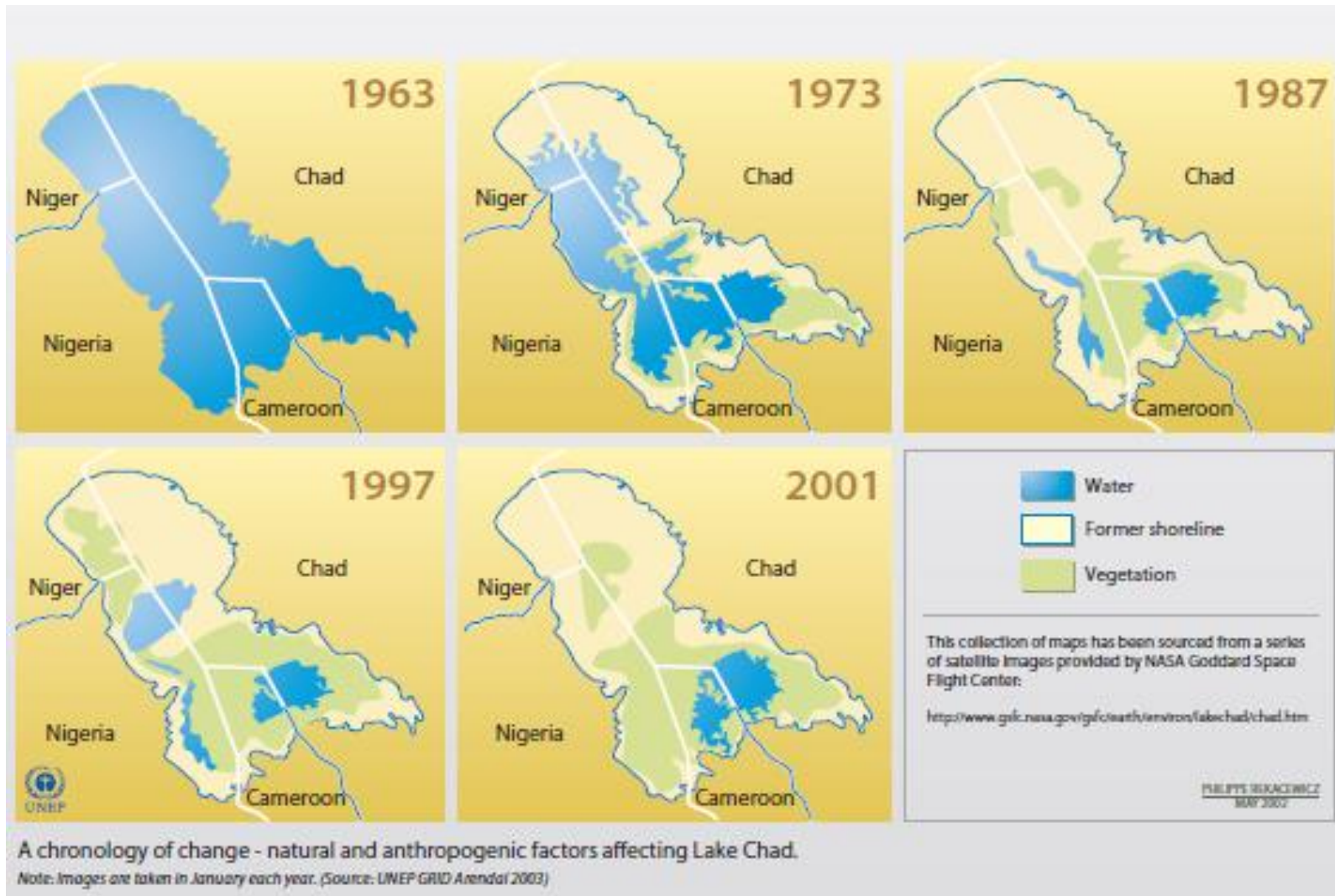
# Lake Chad (차드호)



- 아프리카 중서부에 위치
- 넓은 넓이에 비해 얇은 수심의 호수
- 차드를 포함한 주변 국가들의 주요 수자원



# 면적이 줄어드는 차드호



# 왜 면적이 줄어드는가?

	Catchment Area (km <sup>2</sup> )	Inflows and Outflows (km <sup>3</sup> /yr)	
		Pre-1970 mean	1971-1990 mean
<b>Inflows</b>			
Chari-Logone	590,000	39.8	21.8
Komadugu-Yobe	147,840	1.0	0.45
Yedseram-Ngadda-Ebeji	53,720	0.89	0.12
Other Rivers		1.2	0.2
<i>Total River Inflows</i>		42.89	22.57
Rainfall on open water surface		6.0	2.1
<i>Total Input</i>		48.89	24.68
<b>Outflows</b>			
Evapotranspiration		43.0	23.1
Infiltration		3.0	1.4
<i>Total Outflow</i>		46.0	24.5

Source: Oyebande (1997), UNEP/DEWA (2003).

- 유입원 : 주변의 강 (특히, Chari-Logone)
- 유출원 : 증발 (Evaporation)
- 유입량 급감 & 순수 유출량 감소

## 프로젝트의 목표

대기열역학적으로 **호수의 증발률**을 계산

1961년부터 **매 달 증발하는 부피** 계산

**차드호의 면적 변화 계산**

## 전제 조건

차드호의 면적은

1. 강의 유입량의 변화
2. 기후 변화에 따른 증발량 변화

에만 의존한다고 가정

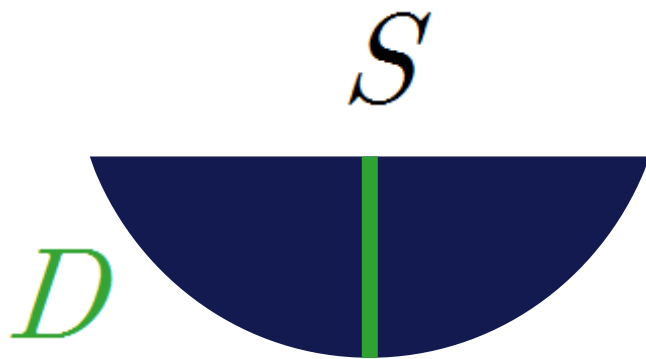
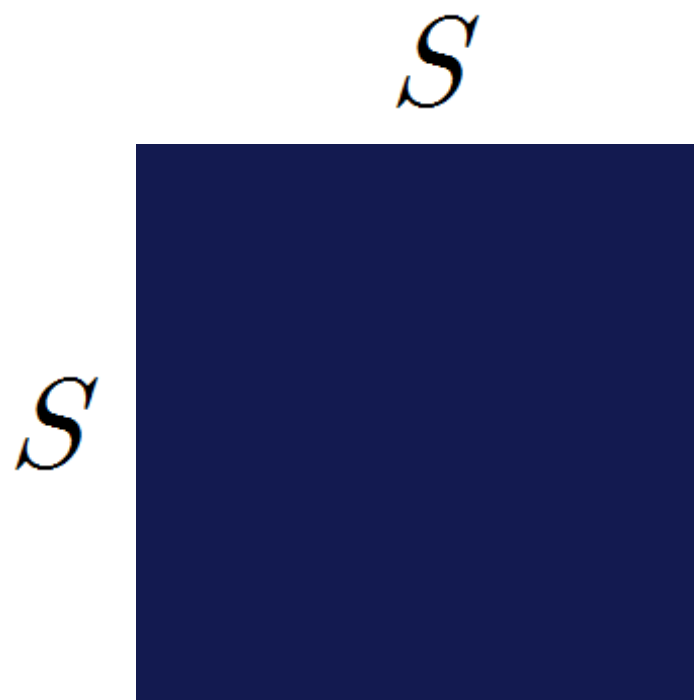


A satellite image of Lake Chad, showing the lake's irregular shape and deep blue water. The surrounding land is a mix of brown and tan, indicating arid or semi-arid conditions. The lake's surface shows some texture, possibly from wind or small islands. A dark rectangular box is overlaid on the top right of the image, containing the title text.

# #2. Evaporation Rate of Lake Chad

January 1983,  
Landsat 1

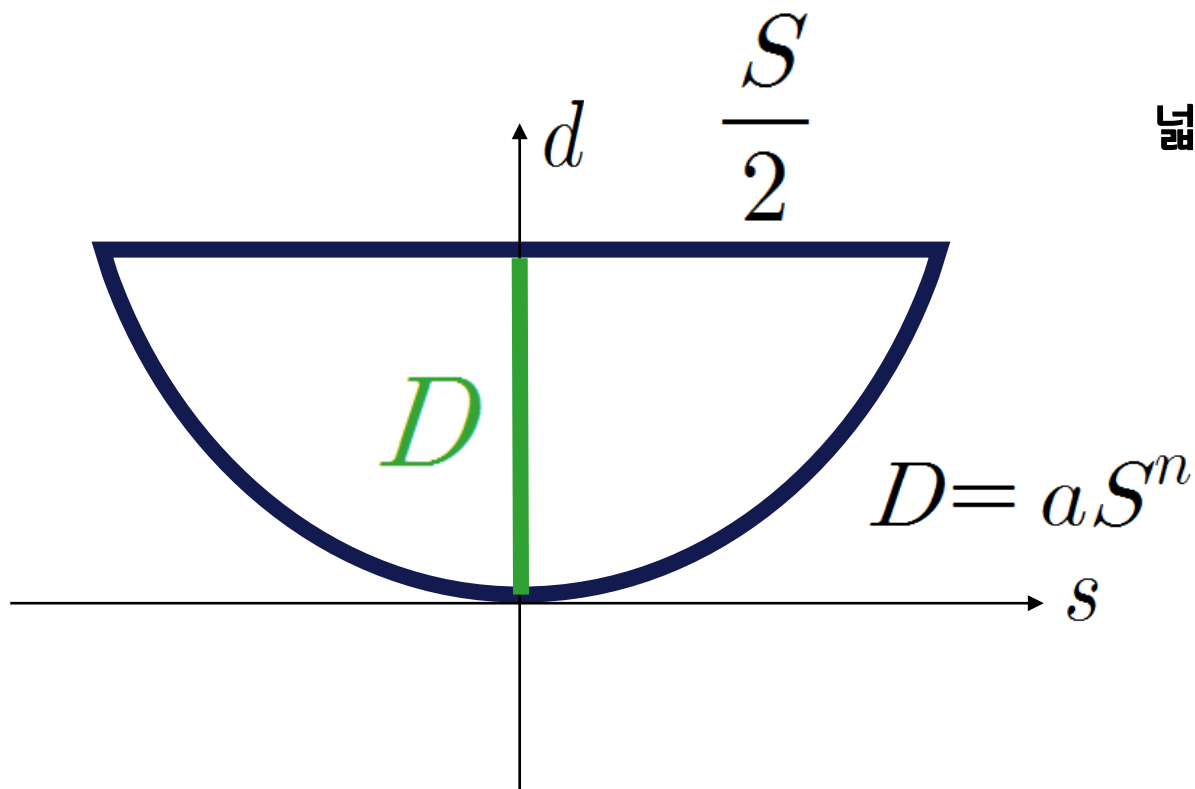
## 가정 1. 호수의 기하학적 형태



$$D \propto S^n$$

$$D = a S^n$$

## 가정 1. 호수의 기하학적 형태



$$\begin{aligned}\text{넓이의 절반} &= D \cdot \frac{S}{2} - \int_0^{\frac{S}{2}} a s^n ds \\ &= \frac{DS}{2} - \left[ \frac{a}{n+1} s^{n+1} \right]_0^{\frac{S}{2}} \\ &= \frac{DS}{2} - \frac{a}{n+1} \cdot \left( \frac{S}{2} \right)^{n+1}\end{aligned}$$

$$\text{부피} = \text{넓이의 절반} \times 2 \times S$$



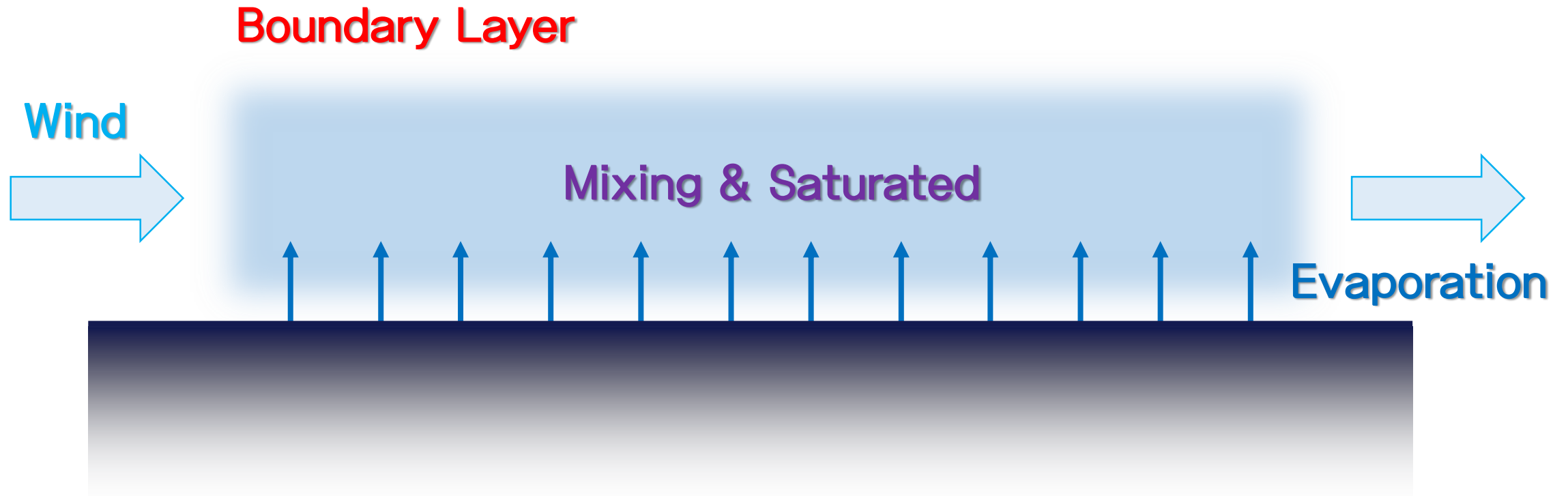
## 가정 1. 호수의 기하학적 형태

At 1983,  $D = 10.5m$  (*Max Depth*),  $S = 1540km^2$ ,  $V = 6.3km^3$  (World Lake Database)

$$n = 0.64, a = 1.51 \quad D = 1.51 S^{0.64}$$

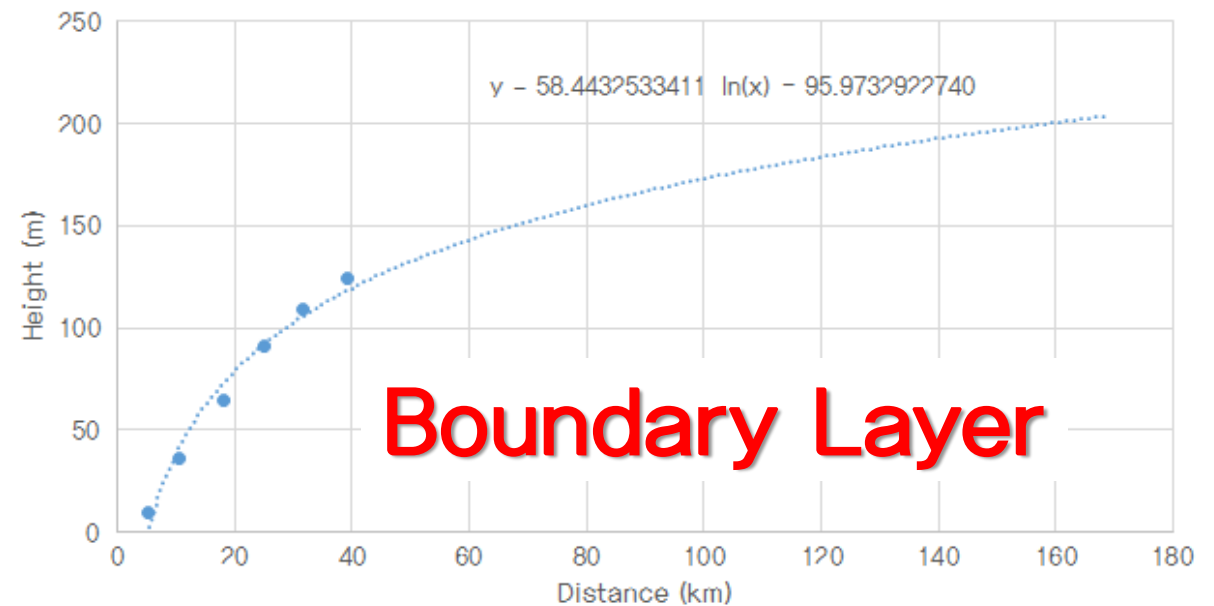
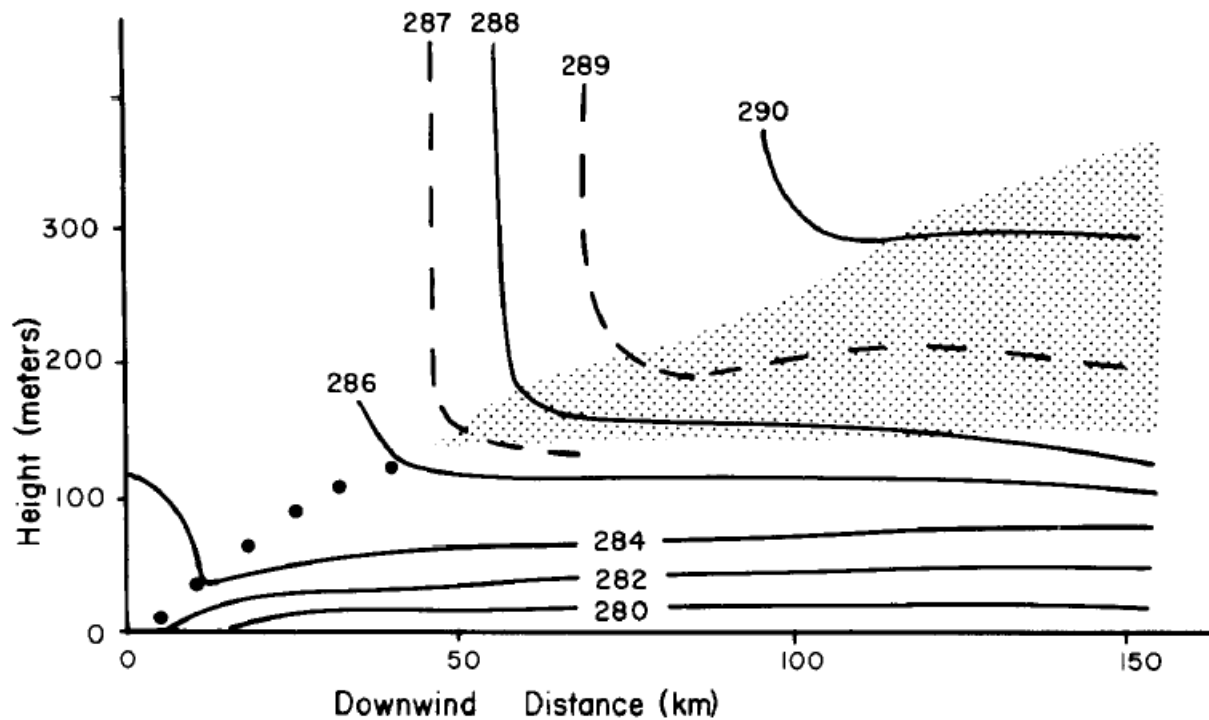
$$V = 2S \cdot \left[ \frac{1.51 S^{1.64}}{2} - \frac{1.51}{1.64} \cdot \left( \frac{S}{2} \right)^{1.64} \right]$$

## 가정 2. Boundary Layer



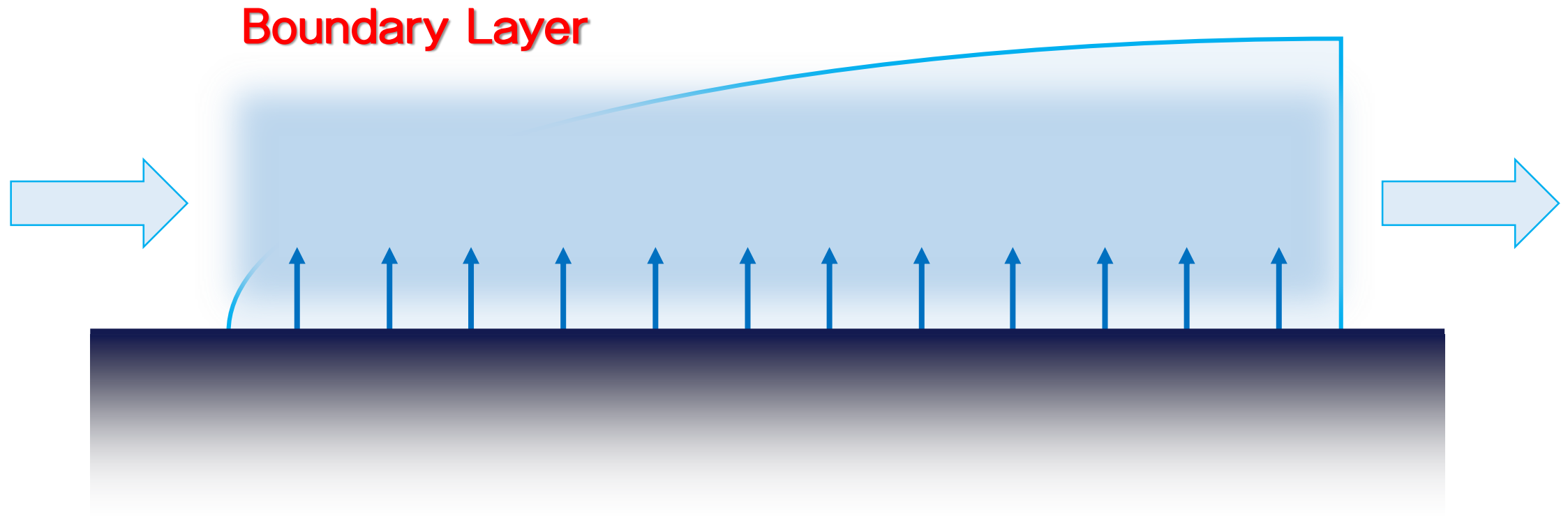
## 가정 2. Boundary Layer

Potential Temperature cross-section  
in the downwind direction over the lake

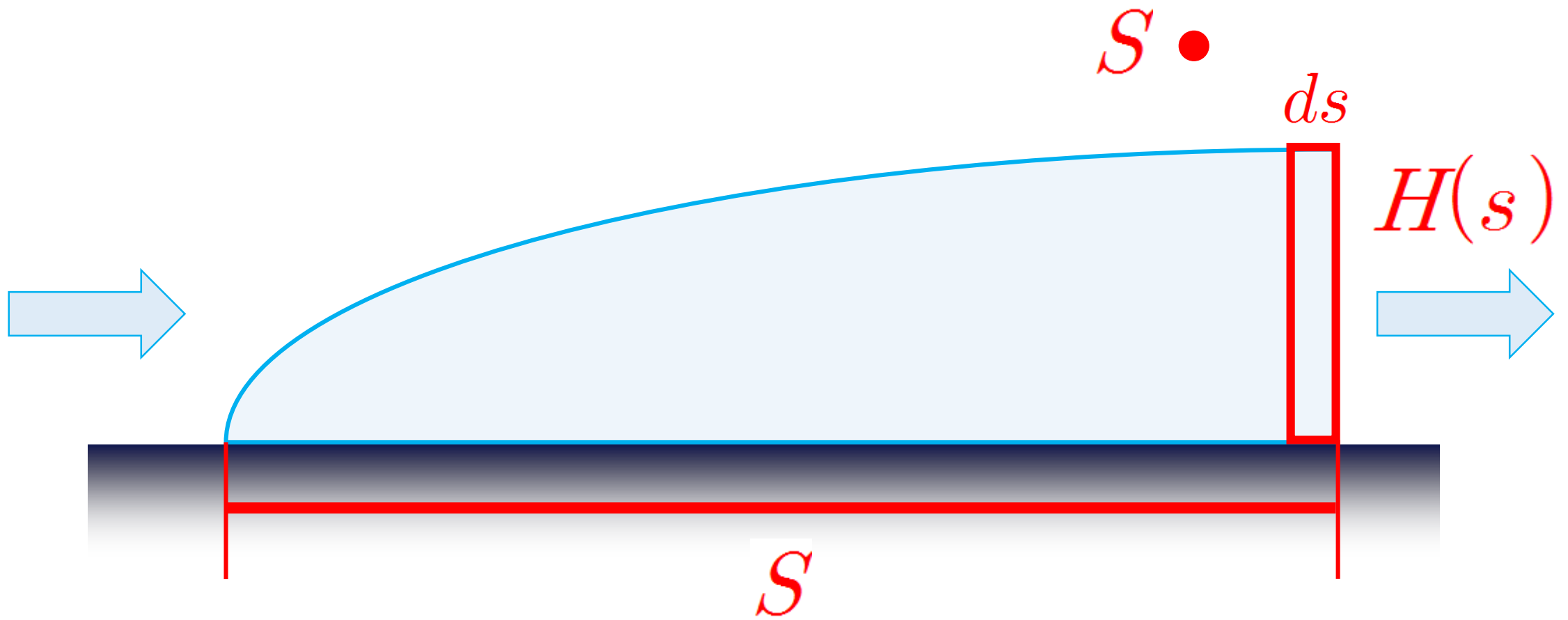




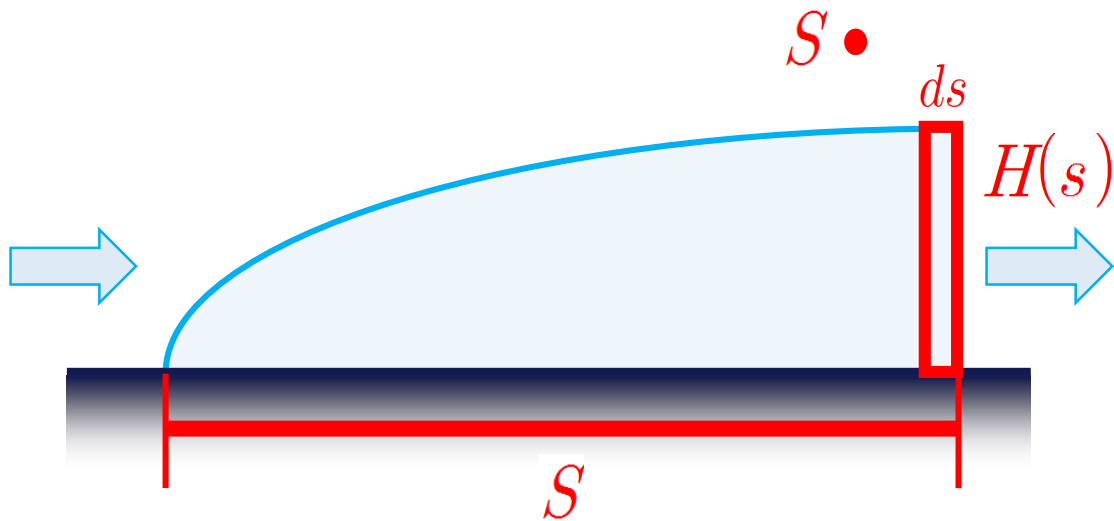
## 가정 2. Boundary Layer



## 식 도출 : 호수의 증발률



## 식 도출 : 호수의 증발률



$dt$  동안 호수 위로 빠져나간 Saturated air의 양  $dV_s$

$$\text{Wind Speed} = \frac{ds}{dt}$$

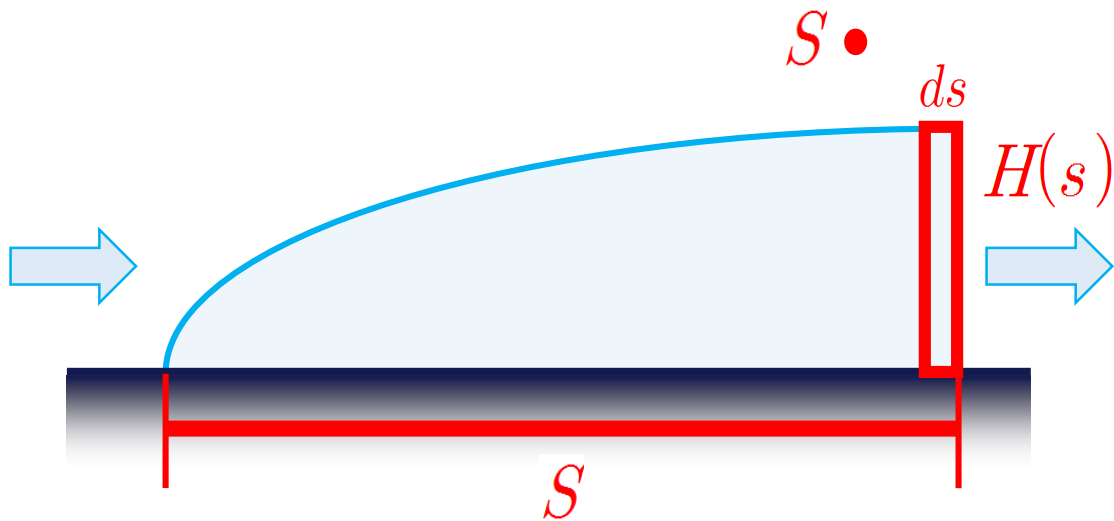
$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{ds}{dt} \cdot H(s) \cdot S$$

이상기체 상태방정식에 의해  $p = \rho R_d T_{virt}$

$$\rho = \frac{p}{R_d T(1 + 0.61q)}$$



## 식 도출 : 호수의 증발률



밀도를 곱하면,  $dt$  동안 Saturated air의 질량 변화

$$\rho \frac{dV_s}{dt} = \frac{dm_s}{dt}$$

증발하는 수증기의 양  $dm_v$

기온 T에서 포화 비습  $q_s(T)$  현재 비습  $q$

$$\frac{dm_v}{dt} = \frac{dm_s}{dt} (q_s(T) - q)$$

**Evaporation Rate**

## 식 도출 : 호수의 증발률

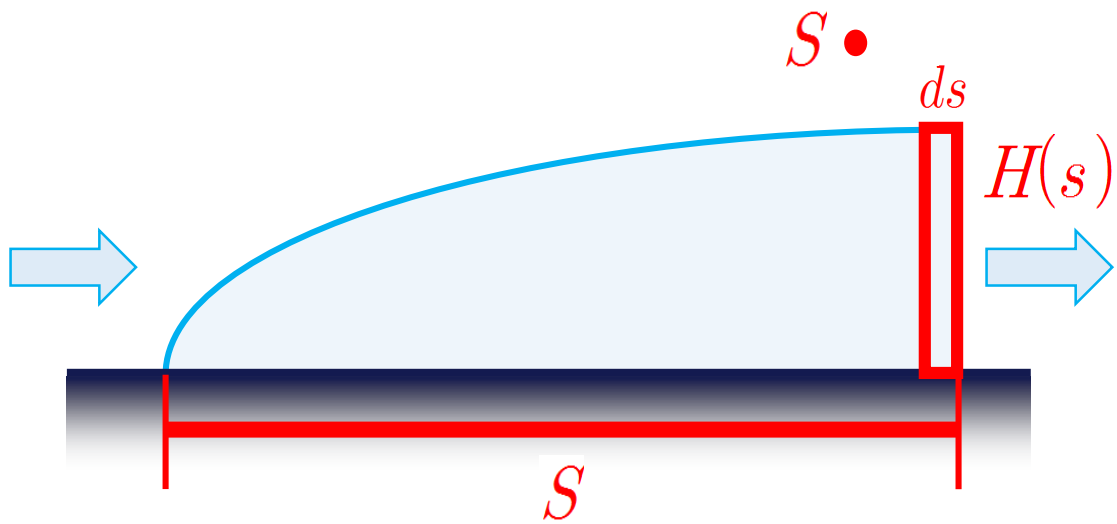
기온  $T$ 에서 포화 비습  $q_s(T)$

$$e_s = 6.11 \exp\left(53.49 - \frac{6080}{T} - 5.09 \ln T\right) \quad w_s = \frac{\epsilon e_s}{p - e_s} \quad q_s = \frac{w_s}{1 + w_s}$$

현재 비습  $q$

$$r = \frac{e}{e_s} \quad w = \frac{\epsilon e}{p - e} \quad q = \frac{w}{1 + w}$$

## 식 도출 : 호수의 증발률



호수의 밀도  $\rho_l$

증발에 의한 호수의 부피 감소율

$$\frac{dV_{evap}}{dt} = \frac{1}{\rho_l} \cdot \frac{dm_v}{dt}$$



A satellite image showing a landscape with a large green area, possibly a forest or wetland, and a blue lake. The green area is irregularly shaped and occupies the central and left portions of the image. The blue lake is located in the lower right portion of the green area. The surrounding land is brown and appears to be a dry or semi-arid region. The image has a grainy texture, characteristic of satellite imagery.

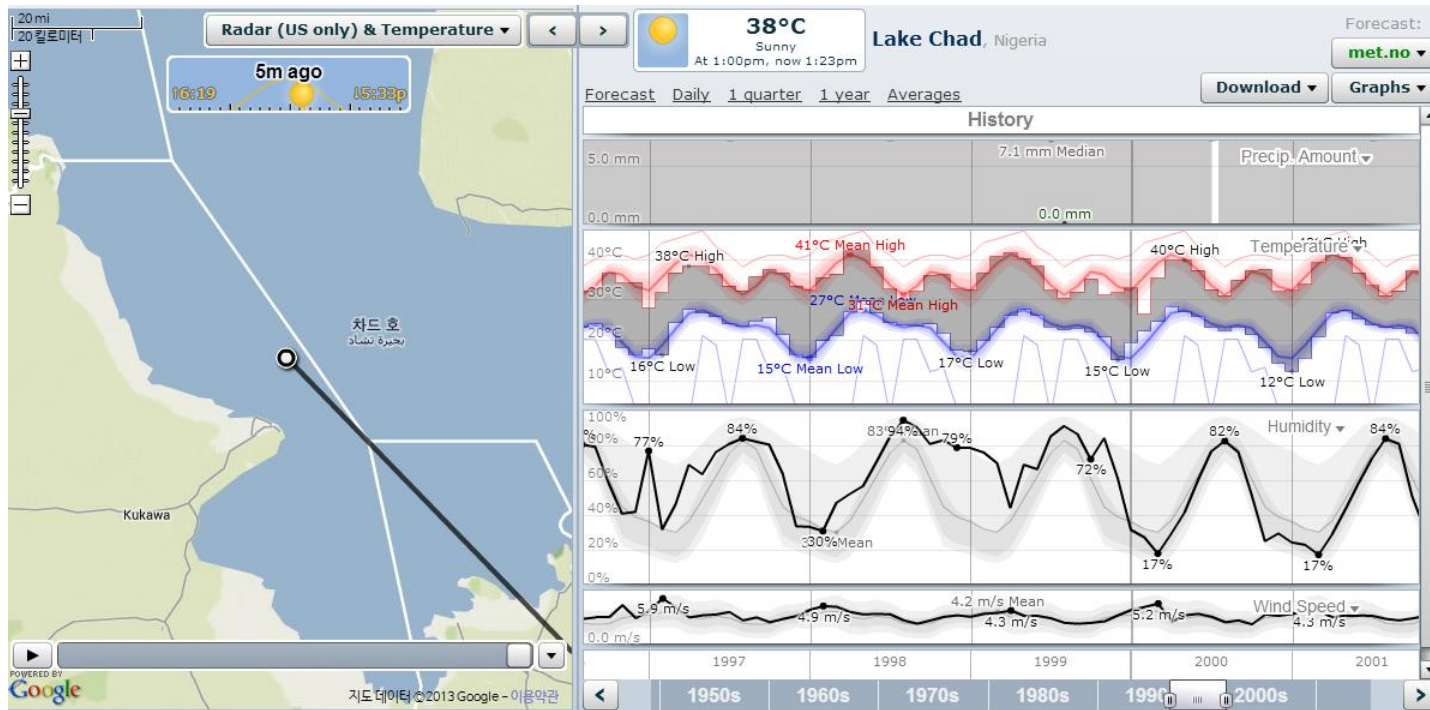
# #3.

## Calculation & Result

May 2005,  
Landsat 7



# 계산을 위한 실제 자료 수집



- 기온 T  
1972년부터 관측 데이터

- 상대습도 r  
1992년부터 관측 데이터

- 풍속  $= \frac{ds}{dt}$

# 가정 : 호수로의 강물 유입

Table 2. Drainage Areas, Inflows into Lake Chad, and the Overall Water Balance of the Lake.

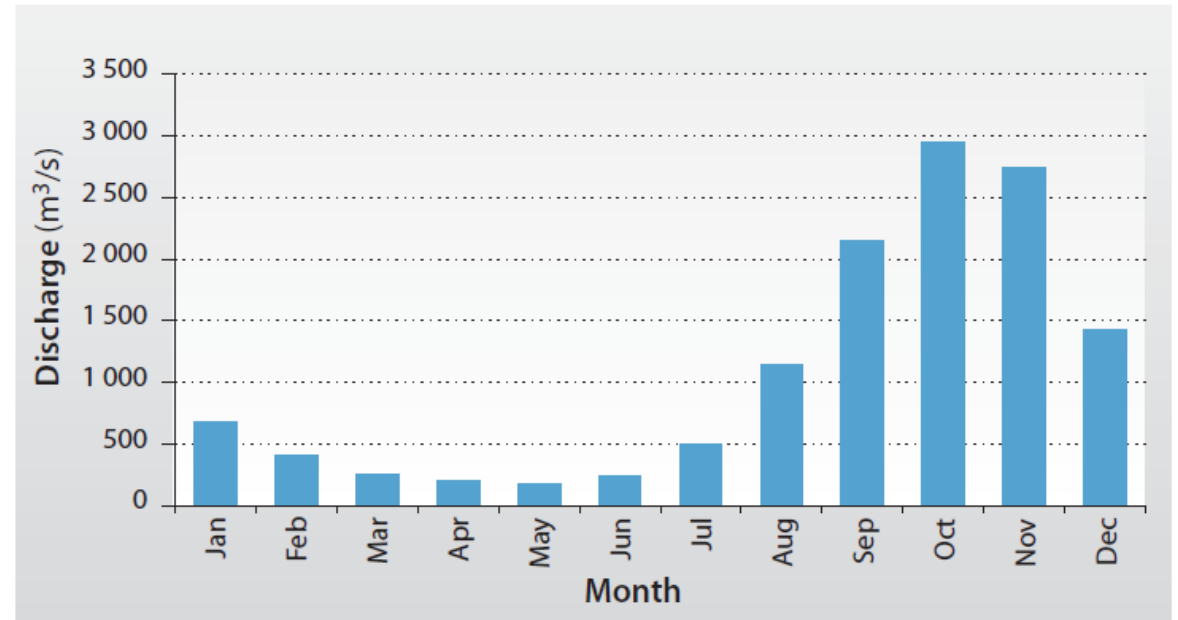
	Catchment Area (km <sup>2</sup> )	Inflows and Outflows (km <sup>3</sup> /yr)	
		Pre-1970 mean	1971-1990 mean
<b>Inflows</b>			
Chari-Logone	590,000	39.8	21.8
Komadugu-Yobe	147,840	1.0	0.45
Yedseram-Ngadda-Ebeji	53,720	0.89	0.12
Other Rivers		1.2	0.2
<i>Total River Inflows</i>		42.89	22.57

# 가정 : 호수로의 강물 유입

## 월별 유입량 변화 추이

	Catchment Area (km²)	Inflows and Outflows (km³/yr)	
		Pre-1970 mean	1971-1990 mean
Inflows			
Chari-Logone	590,000	39.8	21.8

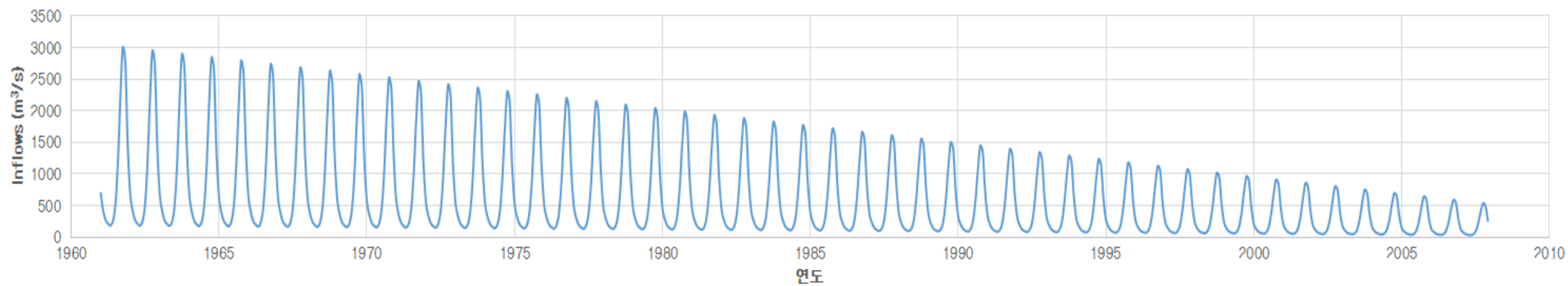
## 연간 유입량 평균 감소 비율



**Figure 14** Monthly average discharge from Chari-Logone River at N'Djamena (1933-1991).

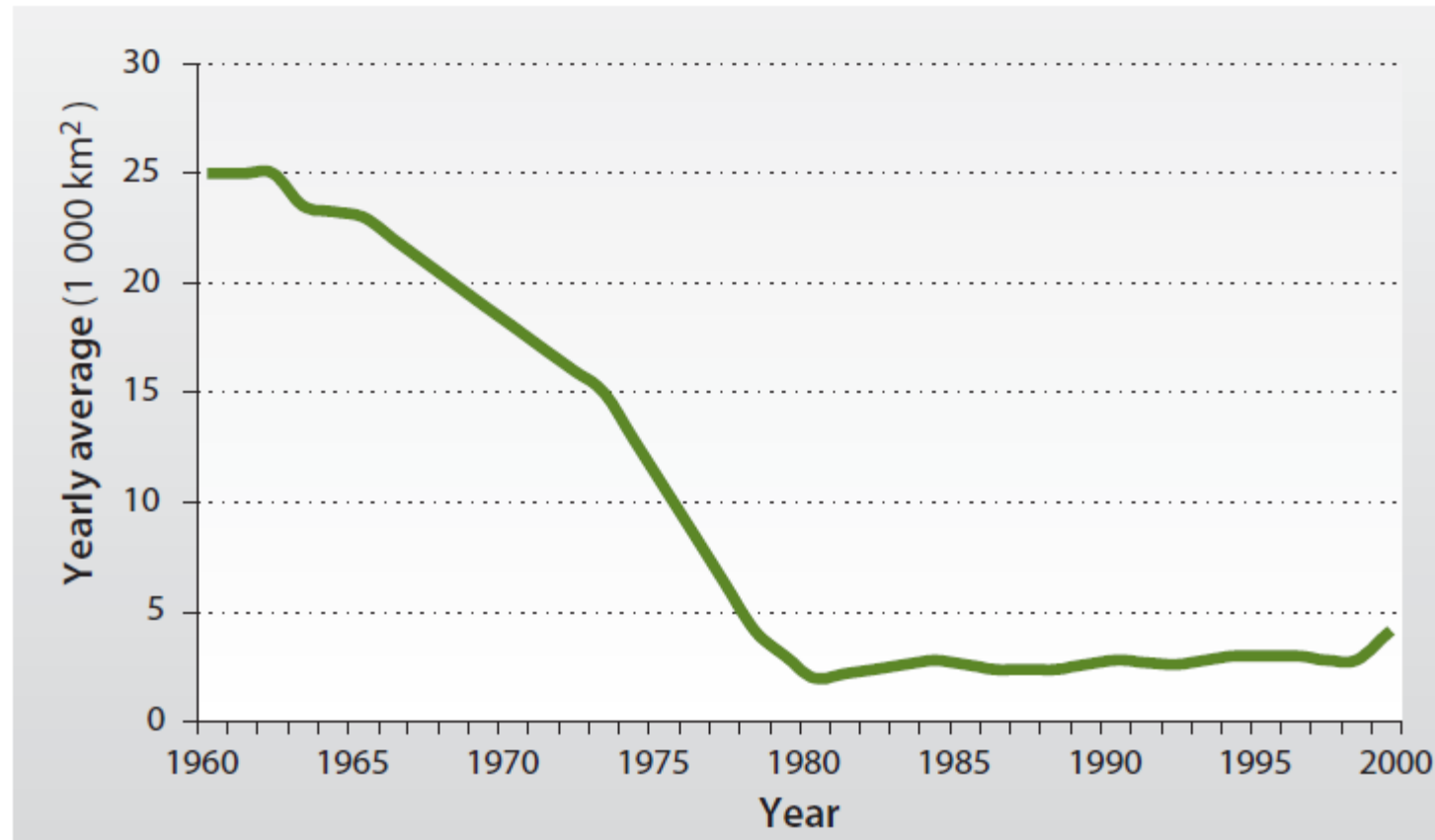
(Source: RIVDIS database 1991)

## 가정 : 호수로의 강물 유입





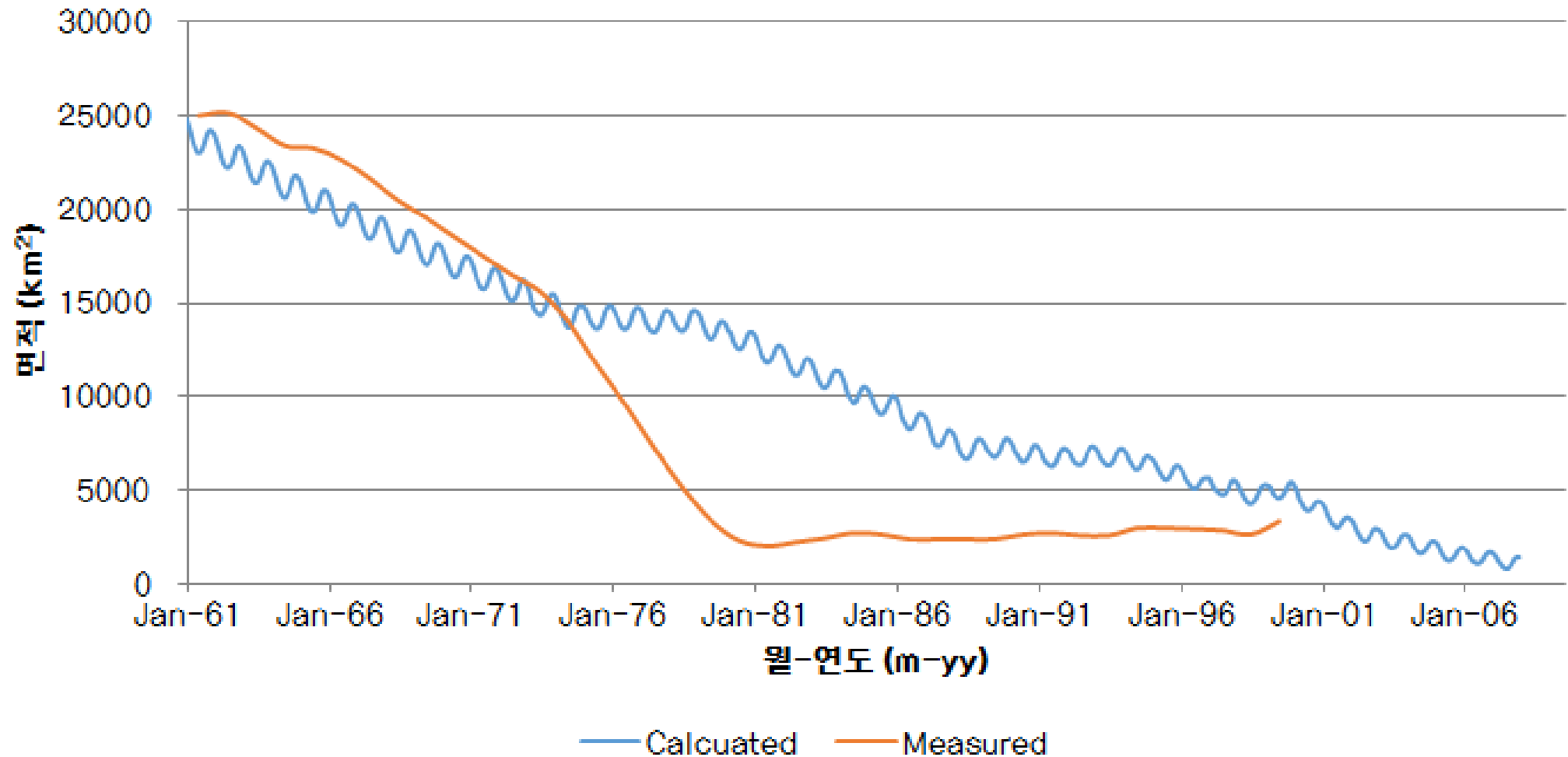
# 실제 차드호 면적의 변화



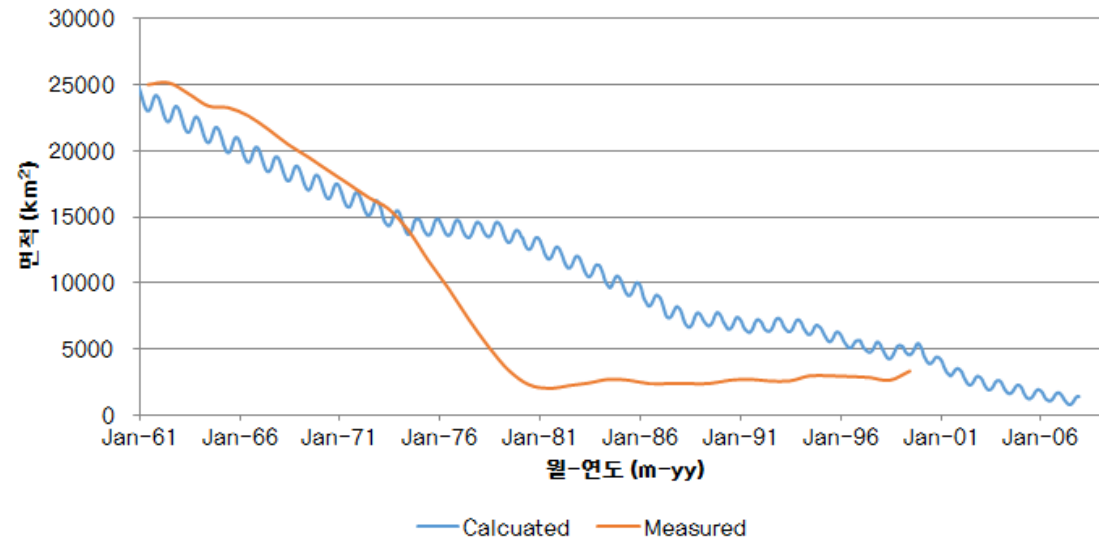
**Figure 12** Open surface area of Lake Chad (1960-1999).

(Source: LCBC 2000b)

## 결과 : 차드호의 면적 변화



# 결과 : 차드호의 면적 변화



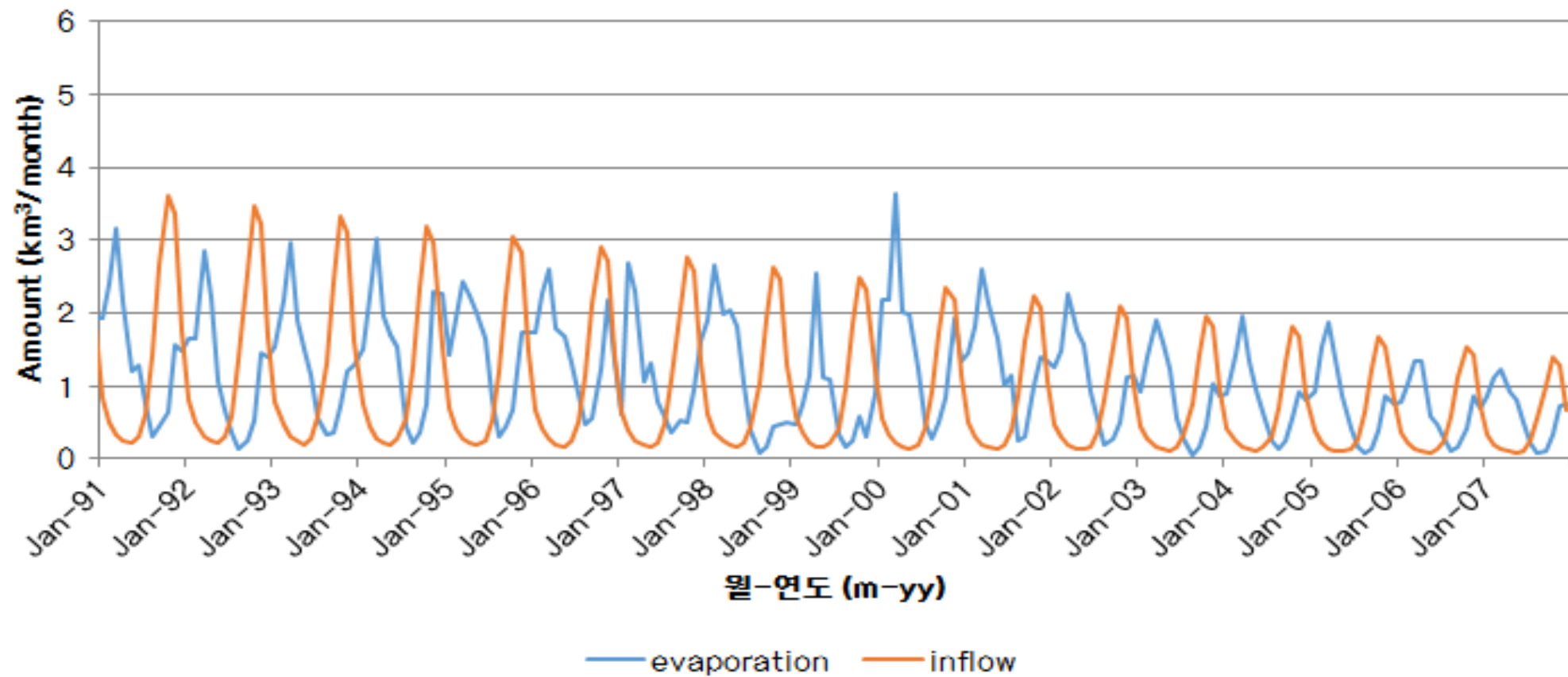
계산 결과,

- 호수의 월별 면적 변화가 뚜렷함 → 11월에 면적이 가장 넓음
- 전반적으로 줄어드는 경향

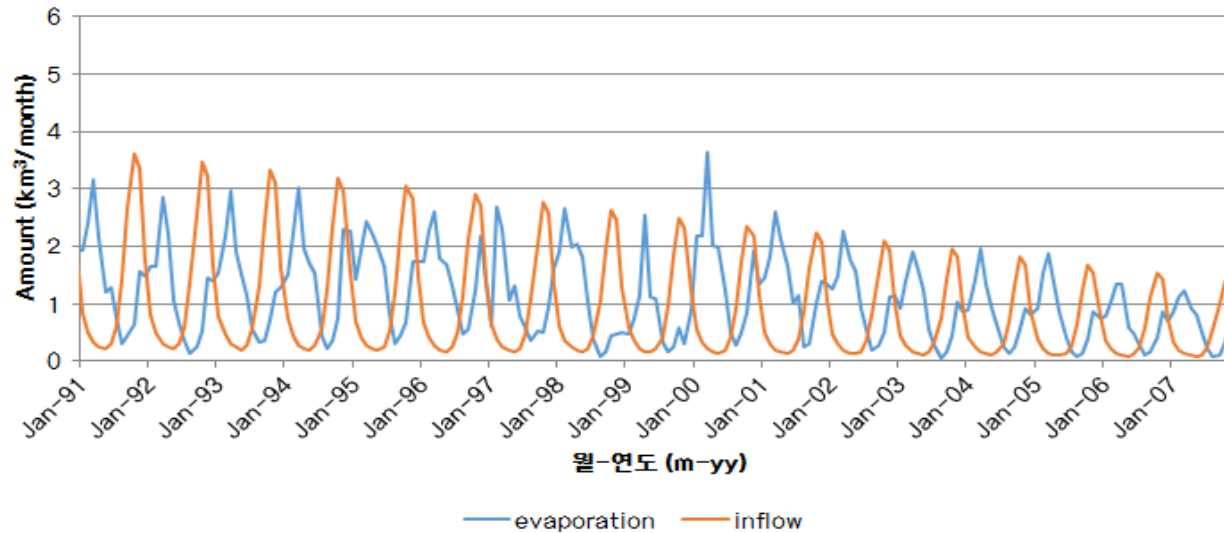
실제 면적 변화에 대해,

- 70년대 말, 호수 면적이 급감 → 주변 국가의 호숫물 사용 급증
- 80년대 이후, 호수 면적 유지 → Management of Lake Chad & Lake Chad Basin Commission

## 결과 : 차드호의 유입과 유출



## 결과 : 차드호의 유입과 유출



- 계절에 따른 증발량 변화 극심 → 온도가 높고 습도가 낮은 4월에 최대
- 계절에 따른 면적 변화폭이 큼 → 4월 최대 증발, 10월 최대 유입
- 호수의 전체 면적 감소 → 호수의 증발량 감소



## 결론

- 이번 프로젝트의 결과는 실제 결과를 분석하는 데에 있어 비교적 타당
- 차드호의 면적이 줄어드는 가장 큰 원인은 **유입량 감소**
- 증발량의 계절변화와 유입량의 계절변화로 인해

**계절에 따라 호수의 면적이 변화**

## 참고문헌

Wylie, Donald P.; Young, John A. 1978, "Boundary-Layer Observations of Warm Air Modification over Lake Michigan Using a Tethered Ballon", University of Wisconsin-Madison.

Odada, Eric O.; Oyebande, Lekan; Oguntola, Johnson A. 2005, "Lake Chad: Experiences and Lessons Learned Brief". Managing lakes and their Basins for Sustainable Use.

GIWA report production, 2004, "Global International Waters Assessment : Lake Chad Basin, GIWA Regional assessment 43", United Nations Environment Programme