

하이드로레이크

기술 문서 버전 1.0

2016년 12월

Bernhard Lehner와 Mathis Messenger가 작성함

(bernhard.lehner@mcgill.ca)

맥길대학교 지리학과

몬트리올, 퀘벡, 캐나다

내용의 테이블

| | |
|--|----|
| 1. 개요 및 배경..... | 2 |
| 2. 방법 및 데이터 특성..... | 4 |
| 2.1 데이터 소스 | 4 |
| 2.2 HydroLAKES 폴리곤 데이터베이스의 생성 및 특징 | 8 |
| 3. 데이터 사양, 형식 및 배포..... | 11 |
| 3.1 벡터 데이터 형식 및 분포 | 11 |
| 3.2 데이터 투영 | 11 |
| 3.3 속성 테이블 | 11 |
| 4. 라이선스, 면책조항 및 승인..... | 15 |
| 4.1 라이선스 계약 | 15 |
| 4.2 보증 부인 | 15 |
| 4.3 책임의 제한 | 15 |
| 4.4 감사의 말과 인용 | 15 |
| 5. 참고자료..... | 16 |

감사의 말

HydroLAKES 데이터베이스는 Global HydroLAB의 팀 노력으로 개발되었습니다.

(<http://wp.geog.mcgill.ca/hydrolab/>), B. Lehner가 감독하고 조정합니다. G. Grill, I. Nedeva 및 O. Schmitt를 포함하여 많은 학생들이 데이터베이스에 주요 입력을 제공했습니다. 이 작업은 수생 생태계 서비스 CNAES를 위한 캐나다 네트워크의 일부로 캐나다 자연 과학 및 공학 연구 위원회(NSERC)가 제공한 자금 지원과 두 개의 NSERC 학부생 연구 상을 통해 지원되었습니다. 캐나다 몬트리올의 McGill University에서 제공합니다. 데이터세트 개발 및/또는 HydroLAKES에 통합하는 데 사용할 개별 데이터베이스를 제공한 데이터 제공 조직 및 학자에게 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 또한, 호수 연구에 시간과 에너지를 쏟고 본 연구에 다양한 방식으로 기여한 많은 동료와 개인들에게도 감사드립니다.

1. 개요 및 배경

호수는 수문학적, 생지화학적, 생태학적 과정의 핵심 구성 요소이므로 호수의 분포, 기하학적 특성 및 체류 시간에 대한 지식은 지구 시스템 내에서 호수의 특성과 상호 작용을 이해하는 데 매우 중요합니다. 그러나 호수에 대한 글로벌 정보는 부족하고 공간적 규모와 지역에 따라 일관성이 없습니다. HydroLAKES 데이터베이스의 목표는 광범위한 글로벌 규모의 평가 및 분석을 지원하기 위해 전 세계 호수와 호수의 주요 특성에 대한 원활한 고해상도 지도를 제공하는 것입니다. 호수는 지구 환경에서 활동합니다.

HydroLAKES 데이터베이스는 표면적이 최소 10ha인 모든 호수를 포함하는 디지털 지도 저장소로 설계되었습니다(그림 1). 현재 버전은 1,427,688개 개별 호수의 해안선 다각형으로 구성됩니다. HydroLAKES는 전 세계적으로 최대한 포괄적이고 일관성을 유지하는 것을 목표로 하며 카스피해를 포함한 담수호와 염호수는 물론 인공 저수지와 규제 호수를 모두 포함합니다. HydroLAKES 데이터베이스는 56 S에서 60 N까지의 지역에 대한 SRTM 수역 데이터(SWBD; Slater et al., 2006)인 여러 거의 전 세계 및 지역 데이터 세트(방법 참조)를 편집, 수정 및 통합하여 생성되었습니다. 및 대부분의 북미 호수에 대한 CanVec(캐나다 천연자원, 2013).

데이터의 공간적 일관성을 보장하기 위해 매핑 프로세스 중에 지도 일반화 방법을 적용하고 일부 다각형 윤곽선을 부드럽게 처리했습니다. 결과 지도 축척은 전 세계 대부분의 호수에 대해 1:100,000에서 1:250,000 사이로 추정되며, 일부 거친 호수는 1:100만입니다.

HydroLAKES가 제공하는 속성 정보를 강화하기 위해 전 지구 하천 네트워크 데이터베이스 HydroSHEDS(Lehner et al., 2008)에 대한 공간 공동 등록이 확립되었습니다. 호수 깊이 및/또는 부피에 대한 문헌 추정치는 $\geq 500\text{km}^2$ 의 모든 호수에 대해 수집되었습니다. 작은 호수의 평균 호수 깊이와 부피를 예측하기 위해 주변 지표면 지형을 기반으로 한 지리통계 모델이 개발되었습니다(Messenger et al. 2016). 고해상도 방류 데이터를 추가하면 각 호수의 수리학적 체류 시간을 추정할 수 있습니다.

HydroLAKES 데이터베이스의 모든 자연 호수의 총 표면적은 $2.67 \times 10^6\text{km}^2$ 입니다. (세계 육지 면적의 1.8%), 총 해안선 길이는 $7.2 \times 10^6\text{km}$ (세계 해양 해안선의 약 4배), 총 부피는 $181.9 \times 10^3\text{km}^3$ (세계 동결되지 않은 육지 물의 0.8%)입니다. 주식). 모든 호수의 평균 수리학적 체류 시간은 각각 1,834일과 451일로 계산되었습니다.

HydroLAKES는 <http://www.hydrosheds.org> 에서 공개적으로 다운로드할 수 있습니다. 과학적, 교육적, 기타 용도로는 무료입니다. 데이터는 Creative Commons Attribution 4.0 국제 라이선스에 따라 라이선스가 부여됩니다(섹션 4 참조). 데이터를 다운로드하고 사용함으로써 사용자는 본 라이선스의 이용 약관에 동의하게 됩니다. HydroLAKES의 저작권 ©는 저자가 보유하며, 2016년 모든 권리는 보유됩니다.

HydroLAKES 데이터베이스의 인용 및 승인은 다음과 같이 이루어져야 합니다.

Messenger, ML, Lehner, B., Grill, G., Nedeva, I., Schmitt, O. (2016): 지리통계적 접근 방식을 사용하여 전 세계 호수에 저장된 물의 양과 나이를 추정합니다. 네이처 커뮤니케이션즈: 13603. doi: 10.1038/ncomms13603. 데이터는 www.hydrosheds.org에서 확인할 수 있습니다.

[illegible]

2. 방법 및 데이터 특성

2.1 데이터 소스

표 1은 HydroLAKES 개발에 사용된 모든 호수 및 저수지 데이터 세트의 개요를 제공합니다. 호수 수는 각 소스 데이터세트에서 추출된 다각형을 나타냅니다.

데이터 소스 및 다각형 형상의 후속 수정에 관한 자세한 내용은 아래에 제공됩니다.

표 1: HydroLAKES 생성에 사용된 데이터 세트.

| 원본 데이터세트 | 지역 | 원본 형식 및 해상도 | 참조 | 수 호수 |
|--|--------------------------------|--|--|-----------|
| 캐나다 수로 데이터세트 (캐넥) | 캐나다(전체 국가) | 벡터; 1:50,000 | 천연 자원 캐나다(2013) | 863,550 |
| 셔틀 레이다 지형 미션(SRTM) 워터 바디 데이터(SWBD) | 남쪽 56° ~ 북쪽 60° | 래스터; 1각초 (적도에서 ~30m); 벡터화 및 평 활화 | Slater et al. (2006) | 282,571 |
| 적당한 해상도 이미징 분광복사계(MODIS) MOD44W 워터 마스크 | 위의 러시아 북위 60° | 래스터; 250m; 벡터화 및 평활화 | Carrollet al. (2009) | 167,435 |
| 미국 국립 수로학 데이터세트(NHD) | 알래스카(주 전체) | 벡터; 1:24:000 | 미국 지질조사국 (2013) | 58,496 |
| 유럽 유역 및 하천 네트워크 시스템 (상자) | 북위 60° 이상의 유 럽 및 노르웨이 전체 | 벡터; 다양한 해상도 | 유럽 사람 환경 (~1:250,000) 에이전시(2012) | 50,699 |
| 전 세계의 호수와 습지 데이터베이스(GLWD) | 세계 | 벡터; 1:1백만 | 레너와 돌 (2004) | 3,023 |
| 글로벌 저수지 및 댐 데이터베이 스(GRand) | 세계 | 벡터; 다양한 해상도 (1:1백만 이상) | Lehner et al. (2011) | 1,133 |
| 기타(자체 매핑) | 세계 | 벡터; 다양한 해상도 해당 없음(1:1백만 이 상) | | 781 |
| 총 | | | | 1,427,688 |

호수 다각형은 주로 60°N 미만의 모든 지역에 대해 SWBD에서 편집되었으며 다음과 같이 보완되었습니다. 세계 여러 지역에 대한 CanVec, MODIS, NHD 및 ECRINS 데이터 세트. GLWD, GRand 및 자체 매핑의 데이터가 추가되어 글로벌 범위를 보완하고 잘못되었거나 부정확한 다각형을 대체했습니다.

SWBD (글로벌; 남쪽 56° ~ 북쪽 60°)

SRTM 수역 데이터(SWBD)는 Slater et al. (2006). SWBD는 SRTM 디지털 표고 모델을 수정하기 위한 균일하고 일관된 워터 마스크를 제공하기 위한 셔틀 레이다 지형 미션의 부산물로 생성되었습니다. SWBD에서 물 식별을 위한 주요 데이터 소스는 에서 수집된 레이더 강도의 정사보정된 이미지였습니다.

SRTM 임무 중 1초 분해능(적도에서 약 30미터). 모든 호숫가는 2000년 2월 데이터 수집 당시 나타난 대로 묘사되었습니다. SWBD 생성은 수동 감독 및 규칙 기반 편집과 함께 반자동 추출 프로토콜을 사용하는 계약업체에 의해 수행되었습니다. 계약자는 보조 데이터 소스를 물의 존재 여부에 대한 지침과 확인으로 사용했습니다. 이러한 보조 데이터는 매립지 물마스크와 1:50,000에서 1:100만 축척의 기존 지도 및 차트를 통해 제공되었습니다. 토지피복 물 마스크는 1980년대 후반부터 1994년까지, 즉 SRTM 데이터보다 훨씬 오래된 28m 해상도의 정교화된 복합 Landsat Thematic Mapper(TM) 데이터에서 파생되었습니다. SRTM 데이터에서 토지/수역 경계면을 식별할 수 없거나 SRTM 데이터가 누락된 경우에만 토지 피복이 수계 경계 묘사에 사용되었을 수 있습니다.

SRTM 데이터의 대비 부족으로 인해 얼음과 눈이 있는 지역에서는 수역 묘사에 특별한 어려움이 있었습니다. 물로 뒤덮인 것으로 보이는 농업 지역에서는 보조 데이터가 뒷받침하는 경우에만 호수가 묘사되었습니다. 혼란을 피하기 위해 보조 데이터를 사용하여 얼음, 눈, 습지, 농업 및 논, 맹그로브 습지를 의도적으로 제외했습니다. 또한, 일부 수역이 확인되었습니다.

약한 후방 산란 신호로 이어질 수 있는 수면의 특정 반사 특성으로 인한 SRTM 레이더 데이터의 공백; 그러나 이러한 공극은 가파른 지형의 레이더 그림자로 인해 공극과 식별하기가 어려웠습니다. 따라서 편집자들은 보조 데이터를 사용하는 것 외에도 가파른 경사면에 위치한 호수와 같은 비논리적인 특징을 피하려고 노력했습니다. SWBD에는 다양한 유형의 수역이 포함되어 있지만 계약자는 편집 과정에서 호수(저수지 및 석호 포함)와 강을 구분했습니다. 마지막으로 생산 및 검토 후 계약자는 래스터 데이터를 ESRI® Shapefile 형식으로 변환하기 위해 골격화 및 기타 경계 추출 도구를 사용하여 최종 워터 마스크를 벡터화했습니다. 원본 SWBD 데이터는 약 14,000개의 개별 1x1도 타일로 전 세계적으로 제공되었습니다.

HydroLAKES를 생성하기 위해 개별 타일의 모든 호수 다각형을 추출하고 모자이크 처리했습니다. 타일 가장자리에서 여러 폴리곤으로 분할된 호수를 융해하여 호수당 하나의 폴리곤을 형성했습니다. 좁은 조각과 오프셋을 초래하는 타일 경계의 작은 정렬 불량으로 인해 발생하는 이러한 융해 프로세스의 문제를 피하기 위해 원본 다각형을 먼저 30m 픽셀 해상도로 래스터화한 다음 타일을 지역 규모에서 원활한 격자로 모자이크 처리했습니다. 래스터 기반 경계 정리 프로세스(확장 및 축소 기술)를 사용하여 그리드에서 작은 간격을 제거했습니다. 그런 다음 호수 윤곽선을 약간 매끄럽게 하고 픽셀 모양의 다각형 경계를 피하기 위해 사용자 정의 단순화 단계를 사용하여 결과를 다시 벡터화했습니다.

CanVec(캐나다)

CanVec 데이터베이스(Natural Resources Canada, 2013)는 다양한 소스에서 생성되었으며, 주요 소스는 캐나다의 NTDB(National Topographic Data Base)입니다. CanVec은 1:50,000의 공간 규모로 다양한 수체 유형을 포함하며 ESRI® 지리 데이터베이스 형식의 폴리곤 레이어 세트로 제공됩니다. 원격 감지 이미지에 대한 테스트를 통해 수역 윤곽의 매우 높은 공간 정확도가 확인되었습니다. CanVec은 호수와 강을 포함한 다양한 물 기능을 제공합니다. 그러나 CanVec 데이터는 모든 주에서 완전히 일관되지는 않습니다. 예를 들어, 일부 지역에서는 영구 호수와 간헐 호수를 구분할 수 있지만 전부는 아닙니다.

HydroLAKES 생성을 위해 호수 다각형의 소스로 CanVec을 직접 사용했습니다.

CanVec의 사용 가능한 버전 12.0은 캐나다 모든 지역의 호수와 강을 일관되게 구별하지 않고 여러 호수와 연결 강을 나타내는 많은 광범위한 다각형을 제공한다는 사실로 인해 방지되었습니다. 해안에서는 동일한 문제가 강, 하구 또는 석호와 병합되어 단일 다각형으로 합쳐지는 해양 표면 부분과 관련될 수 있습니다. 이 문제에는 정교한 수동 청소 프로세스가 필요했습니다. 모든 다각형을 육안으로 검사했습니다. 강이나 바다 부분이 명확하게 포함된 부분은 여러 부분으로 분할되었습니다. 개별 호수를 나타내는 부분만 HydroLAKES 데이터에 유지되었습니다. 이 수동 청소 프로세스를 안내하기 위해 다양한 지도책과 지형도가 사용되었습니다.

다른 데이터 준비 단계에는 CanVec에서 간헐적인 호수로 간주되는 객체의 생략이 포함되었습니다(테스트 결과 대부분이 다른 지형 지도에서 습지로 분류된 것으로 나타났습니다). 손상된 다각형 형상에 대한 일부 수정이 수행되었으며 미국과의 국경을 넘는 여러 호수가 대체(완전한) 다각형으로 대체되거나 원격 감지 이미지의 디지털화를 통해 완성되었습니다.

MODIS(러시아 북부)

MODIS(MODIS) MOD44W 워터 마스크는 MODIS 250m 데이터와 함께 SWBD 데이터를 사용하여 생성되어 SWDB가 있는 60°N에서 90°N 사이의 영역을 포함하여 250m 해상도의 수역에 대한 전역 범위를 제공합니다. 이용할 수 없다 (Carroll et al., 2009). 수체의 분류는 80°N까지 대륙별 지역결정트리를 적용하여 수행하였다. 원격탐사를 이용하여 80°N에서 90°N까지의 지역에 대해 얼음 덮개를 고려한 별도의 분류가 적용되었습니다.

7월과 8월의 이미지는 얼음이 최소한으로 덮이는 시기를 나타냅니다.

HydroLAKES에 포함시키기 위해 MODIS 워터 마스크는 맞춤형 경계 평활화 절차를 사용하여 벡터화되었습니다. MODIS 데이터는 바이너리 개방형 수면만을 제공하므로

호수나 강과 같은 물 유형을 추가로 분류하지 않고 추가 수동 후처리 단계가 수행되었습니다. 강을 식별 및 제거하거나 병합된 강의 일부를 연결 해제 및 제거하기 위해 길쭉하고 선형인 모든 다각형 특징을 육안으로 검사했습니다. 호수와 함께. 이 단계는 지도책, 지형도, 원격 감지 이미지(Google Earth 포함)를 포함한 다양한 보조 정보와의 비교를 통해 진행되었습니다.

미국 NHD(알래스카)

미국 국립 수문학 데이터베이스(NHD)는 1:24,000 공간 규모의 지도를 기반으로 미국의 수역 범위를 제공합니다(US Geological Survey, 2013). 이 데이터베이스는 USGS 수문학 디지털 선 그래프 파일과 EPA 도달 파일 및 개별 주 기어로부터 편집되었습니다. CanVec 데이터와의 시각적 비교는 선 그래프 파일을 디지털화하는 과정에서 호수 윤곽선이 어느 정도 부드러워졌을 수 있음을 나타냅니다.

NHD 데이터는 SWBD 데이터의 전역 일관성을 최대 60°N까지 극대화하기 위해 알래스카용 HydroLAKES 생성에만 사용되었습니다. 10ha보다 크거나 같은 다각형만 선택하는 것 외에는 더 이상 기하학적 수정이 적용되지 않았습니다.

ECRINS(북위 60° 이상의 유럽 및 노르웨이 전역)

유럽 유역 및 강 네트워크 시스템(ECRIS, 유럽 환경청에 설명됨, 2012)의 데이터는 대부분 1:250,000 이하로 추정되는 다양한 공간 규모에서 유럽의 수역 다각형을 제공합니다. ECRINS 호수 데이터는 Corine Land Cover 2006, XFD Art 13, CCM River 및 Catchment 데이터에서 파생되었습니다.

ECRINS에서 제공하는 대부분의 호수 다각형은 추가 수정 없이 HydroLAKES에 포함되었습니다. 픽셀화된 해안선이 있는 다각형(거친 원격 감지 이미지의 벡터화 프로세스의 결과일 가능성이 있음)과 같은 일부 명백한 불일치는 매끄럽게 처리되거나 대체 다각형으로 대체되었습니다.

GLWD(글로벌)

전 세계 호수 및 습지 데이터베이스(GLWD; Lehner and Döll, 2004)는 호수 및 저수지 해안선 다각형에 대한 포괄적인 전 세계 데이터 세트를 제공합니다. 데이터베이스에 포함된 대부분의 호수는 표면적이 1km²보다 크거나 저수지의 저장 용량이 0.5km³보다 큼니다.

원본 다각형은 대부분 세계 디지털 차트 데이터베이스(1:100만 규모)에서 가져온 것입니다. 소수의 경우 오류를 수정하기 위해 다른 글로벌 호수 저장소에서 보완했습니다. GLWD에 포함된 호수 다각형의 공간 해상도, 정확도 및 정밀도는 일반적으로 HydroLAKES에 포함된 것보다 품질이 낮습니다. 이는 부분적으로 해안선 모양에 심각한 변화와 왜곡을 초래할 수 있는 알려진 투영 문제 때문입니다.

GLWD 호수 다각형은 일부 데이터 격차를 메우거나 잘못된 HydroLAKES 다각형에 향상된 품질을 제공하기 위해 보조 소스로 HydroLAKES에 추가되었습니다. 원격 감지 이미지(Google Earth 포함)와의 비교를 통해 위치의 약간의 이동을 포함하여 해안선의 일부 수정이 적용될 수 있습니다.

그랜드(글로벌)

글로벌 수자원 시스템 프로젝트(Global Water Systems Project)에서 배포한 글로벌 저수지 및 댐 데이터베이스(GRand 버전 1.1; Lehner et al., 2011)는 저수지 다각형 및 관련 댐에 대한 고해상도의 광범위하게 검증된 글로벌 데이터 세트를 제공합니다. GRand에 포함된 저수지 다각형의 대부분은 SWBD에서 제공되며 일부 지역은 독립적으로 디지털화된 해안선으로 덮여 있습니다.

HydroLAKES 생성을 위해 6796개의 대규모 GRand 다각형($\geq 10\text{ha}$)에 대한 정보를 사용하여 인공 저수지와 규제 호수를 자연 호수와 구별했습니다. 각각의 HydroLAKES 다각형에는 해당 GRand-ID가 할당되어 두 데이터베이스 간의 연결이 가능해졌습니다. 대부분의 경우 HydroLAKES와 GRand의 다각형 윤곽선은 일치합니다(둘 다 주로 SWBD에서 제공되므로). GRand가 더 우수하거나 고유한 다각형 정보를 제공하는 경우(예: 2000년 이후에 건설된 저수지의 경우) GRand의 다각형이 HydroLAKES에 사용되었습니다. 예를 들어 HydroLAKES가 고품질 국가 데이터를 기반으로 하는 캐나다와 같이 품질이 낮은 GRand의 경우 GRand의 일부 다각형은 포함되지 않았지만 대신 저수지 속성과 해당 GRand-ID가 HydroLAKES 다각형에 할당되었습니다. GRand v1.1에 포함되지 않은 HydroLAKES에서 추가로 매우 큰 저수지(캐나다 Eastmain Reservoir)가 식별되어 표시되었습니다.

2.2 HydroLAKES 폴리곤 데이터베이스의 생성 및 특성

일반적인

HydroLAKES 데이터베이스를 생성하기 위해 다양한 소스에서 호수 다각형을 컴파일했습니다(표 1 참조). 원본 데이터가 래스터 형식으로 제공된 경우 경계 평활화 절차를 사용하여 먼저 벡터화되었습니다. HydroLAKES 생성의 주요 처리 단계에는 강 및 습지 다각형의 수동 식별 및 제거가 포함되었습니다. 중복 및 겹치는 다각형 제거; 분할된 다각형을 개별 호수 개체로 분해합니다. 손상되거나 부정확한 다각형 기하학의 수정; 호수 내 작은 섬(3ha 미만) 제거; 서로 다른 초기 해상도의 데이터 세트 간의 불일치를 줄이기 위해 수역 해안선을 평활화합니다. 호수 표면적을 기준으로 10ha(0.10km²)의 경계를 설정합니다.

보다 자세한 처리 단계는 아래와 표 2에 나와 있습니다.

호수 정의 및 감지 품질

호수 데이터베이스를 구축할 때 호수, 강, 습지를 구분하는 것은 어렵고 중요한 문제이다. 다양한 정의(예: RAMSAR 협약)에서 호수는 일반적으로 더 넓은 습지 범주에 포함되며, 그 영속성 또는 영속성 상태 및 깊이에 따라 구별됩니다. 유속, 수로 폭 또는 깊이의 변화에 따라 강과 호수를 구별하는 것이 마찬가지로 어려울 수 있습니다. "호수만"을 구별하는 HydroLAKES의 기능과 품질은 검증되지 않았지만 HydroLAKES를 컴파일하는 데 사용되는 기본 소스 데이터 세트는 개별 분류 개발이 필요한 기존 원격 감지 기반 제품보다 혼동이 덜할 것으로 여겨집니다. 일반적으로 호수, 강, 습지 사이의 전이 구역에 대한 데이터 세트나 수문학 과정의 주기적인 변화로 인해 고립된 소굴 호수가 홍수 주기 동안 활동적인 강으로 변하는 등 이러한 특징이 일시적으로 변경되는 경우 높은 불확실성이 예상됩니다. 건조한 기간에는 호수가 습지로 변합니다.

호수와 강을 구별하는 측면에서 HydroLAKES는 특히 캐나다의 CanVec 데이터를 뒷받침하기 위해 호수가 아닌 강 코스와 유사한 다각형 또는 다각형의 일부를 제거하기 위해 광범위한 수동 검사를 거쳤습니다(위 섹션 2.1 참조). HydroLAKES 생성에 사용된 다른 소스 데이터 세트는 호수 전용 다각형을 제공했거나 SWBD 및 GLWD의 경우 호수와 강 간의 구분을 포함했습니다. 그러나 호수와 강을 공유한 다각형으로 명확하게 공간적으로 분리하는 것은 이들 사이의 전환이 유창하거나 미묘할 수 있으므로 많은 곳에서 매우 모호합니다.

호수와 습지를 구별하는 측면에서 이러한 특징 간의 프로세스 기반 분리를 결정하는 것은 HydroLAKES 자체의 목표가 아닙니다. 오히려 HydroLAKES는 활용된 소스 데이터세트에 제공된 특정 구별에 의존합니다. 이 모든 데이터세트에는 설계상 습지가 포함되지 않은 명시적인 "호수" 범주가 포함되어 있습니다. 특히 CanVec과 US NHD 데이터세트는 모두 습지와 호수를 구분한 지형도에서 생성되었습니다. 마찬가지로, 56°S에서 60°N까지의 지역에 사용되는 SWBD 다각형과 60°N 이상의 유럽 호수에 대한 ECRINS 데이터베이스는 모두 습지를 제거하기 위해 의도적으로 설계된 광범위한 수동 후처리의 결과입니다(예: Slater et al., 2006). SWBD 개발자는 레이더 데이터를 보조 참조 데이터(예: NGA 또는 Landsat Thematic Mapper의 워터 마스크)와 비교하여 묘사된 호수가 습지가 아닌지 확인했습니다.

규모

기반 소스 데이터의 해상도는 벡터 데이터의 경우 1:24,000 ~ 1:1백만, 래스터 데이터의 경우 30m ~ 250m 픽셀 범위였습니다. 지도 통합 프로세스 중 규모의 불일치와 다양한 다각형 변환, 평활화 및 일반화 단계로 인해 글로벌 HydroLAKES 데이터베이스의 결과 해상도를 엄격하게 정의할 수 없습니다. 그러나 Winslow et al.이 개발한 해안선 스케일링 법칙을 사용한 테스트뿐만 아니라 알려진 다양한 해상도의 지도를 사용한 지역 비교도 있습니다. (2014)는 최상의 근사치로 다음 척도를 제안합니다. 캐나다와 알래스카의 경우 약 1:100,000(즉, 전 세계 호수 수의 2/3를 차지함); 유럽과 북위 60도 이하의 모든 지역(즉, 지구 대륙의 대부분을 차지함)의 경우 약 1:250,000; 나머지 지역(예: 러시아 북부와 그린란드)의 경우 약 1:100만입니다.

HydroSHEDS와 공동 등록

HydroLAKES와 HydroSHEDS 데이터베이스(Lehner et al., 2008)의 하천망 사이의 공간적 공동 등록은 각 호수를 호수를 배수하는 가장 하류의 강 픽셀에 연결함으로써 확립되었습니다. 이 유동점(또는 호수 배출구)은 일반적으로 호수 해안선 근처에 있지만 엔도레익 분지의 말단 호수에 대한 호수 다각형의 중심 근처에서도 발생할 수 있습니다.

각 호수에 대한 단일 유동점을 생성하기 위해 각 호수 내에서 셀 축적 값(즉, 유역 영역의 프록시를 나타내는 HydroSHEDS에서 제공하는 업스트림 픽셀 수)을 분석하고 호수당 최대 값을 갖는 픽셀을 다음과 같이 분석했습니다. 호수 유동점으로 식별됩니다. 동일한 호수에 대해 최대 셀 축적량이 동일한 여러 픽셀이 식별된 경우 모델링된 방전 값이 가장 높은 픽셀을 선택하고, 여전히 여러 픽셀이 있는 경우 그 중에서 무작위로 선택했습니다. 이로 인해 궁극적으로 호수당 하나의 유동점 픽셀이 발생했습니다. 마지막으로, 유동점 위치의 정확한 좌표는 호수 다각형과 유동점 픽셀 사이의 교차 중심으로 계산되어 모든 유동점이 해당 호수 다각형 내에 위치하도록 보장합니다.

호수 유동점을 생성한 후 유동점 위치에서 해당 HydroSHEDS 값을 추출하여 상류 집수 지역 또는 모델링된 배출 추정치와 같은 HydroSHEDS 정보를 HydroLAKES 데이터베이스에 추가했습니다.

GResD 공동등록

HydroLAKES는 또한 6796개의 해당 다각형을 식별하고 이를 GResD 데이터베이스의 ID로 지정하여 GResD(Global Reservoir and Dam) 데이터베이스(Lehner et al., 2011)에 공동 등록되었습니다. 필요한 경우 이러한 ID를 사용하여 GResD 데이터베이스의 추가 정보를 HydroLAKES에 연결할 수 있습니다.

호수량 추정

Messager et al. (2016)은 EarthEnv-DEM90(Robinson et al., 2014)에서 제공한 고도 데이터와 결합하여 HydroLAKES를 90m 해상도로 사용하여 모든 호수 다각형의 평균 깊이 추정치를 계산했습니다. 선택된 예측 모델은 호수 표면적과 호수 주변 100m 버퍼 내의 평균 지형 경사를 사용하여 크기별 다중 회귀 방정식을 적용합니다. 방정식은 다음의 수심 측정 데이터 기록을 기반으로 개발되었습니다.

전 세계적으로 7000개 이상의 호수를 대상으로 하며, 그 결과는 5000개 이상의 호수에 대한 독립적인 검증 데이터에 대해 테스트되었습니다. 검증을 통해 만족스러운 지역적 결과가 확인되었지만, 단일 호수의 양을 해석할 때는 개별 오류와 불확실성이 클 수 있으므로 주의가 필요합니다.

표면적이 0.1~500km² 사이인 모든 호수에 대해 모델링된 평균 호수 깊이에 호수 표면적을 곱하여 호수 부피를 구했습니다. 점점 더 복잡해지는 수심측량으로 인해 500km² 이상의 호수에 대한 호수 깊이 추정치는 170개의 문헌 출처에서 가져왔고 Herdendorf(1982)의 글로벌 편집 자료가 주요 출처입니다. 또한, 6,797개 대규모 저수지 또는 규제 호수의 저장 용량은 대부분 GRand(Global Reservoir and Dam) 데이터베이스에서 추가되었습니다(Lehner et al., 2011).

방전 및 체류 시간 추정

모든 호수에 대한 평균 배출 추정치를 할당하기 위해 전 지구 통합 물 모델 WaterGAP(Döll et al., 2003; 2014년 기준 모델 버전 2.2)에서 장기(1971~2000) 평균 귀화 유출 및 유출 데이터를 얻었습니다. 데이터는 지리통계적 접근법을 사용하여 원래의 0.5도(~50km) 픽셀 해상도에서 전 지구 HydroSHEDS 강 네트워크(Lehner et al., 2008)의 15아크초(~500m) 해상도로 공간적으로 축소되었습니다. 레너와 그릴, 2013). 독일 코블렌츠에 있는 글로벌 유출 데이터 센터(Global Runoff Data Center)가 제공하는 약 3000개 측정소에서 보고된 평균 배출량에 대한 예비 테스트는 전체적으로 좋은 상관관계를 보여주지만 개별 불확실성은 높을 수 있습니다(Lehner et al., in prep.).

축소된 유출량 추정치를 개별 호수에 할당하기 위해 각 호수 유동점 위치에서 값을 추출했습니다. 그런 다음 각 호수의 평균 체류 시간 추정치를 호수 부피와 유출량 간의 비율로 계산했습니다.

기타 의견 및 불확실성

HydroLAKES 개발에 사용된 거의 모든 데이터 세트는 레이더 기술(SWBD), 장기 이미지 합성 분석(MODIS) 또는 지형 지도(예: CanVec, US NHD)를 기반으로 생성되었다는 점에 유의해야 합니다. 이러한 유형의 원격 탐사 이미지에서는 구름의 영향이 미미하며 지형 지도에는 없습니다.

HydroLAKES는 더 큰 호수를 완벽하게 포괄한다고 가정하지만, 강이나 습지가 아닌 호수를 구성하는 요소에 대한 다양한 정의로 인해 다른 기존 호수 데이터 세트와의 불일치가 발생할 수 있습니다. 또한 일부 호수는 최근 그 범위가 변경되었거나 심지어 사라졌을 수도 있고, HydroLAKES에서 제공하는 시간적 스냅샷으로 제대로 표현되지 않는 강한 계절적 변동을 겪었을 수도 있습니다. 마지막으로, 가까운 곳에 연결된 수영장을 하나 또는 여러 개의 호수로 해석하는 데 약간의 혼란이 있을 수 있습니다. 대표적인 예로서, 미시간 호수와 휴런 호수는 자연적으로 연결되어 있음에도 불구하고 두 호수를 별도의 단위로 취급하는 일반적인 관례를 따르기 위해 두 개의 호수로 분할되었습니다.

10ha의 하한 크기 제한에서 HydroLAKES의 완전성 수준은 검증하기 어렵습니다.

Messager et al. (2016)은 HydroLAKES가 35ha 이상의 호수에 대해 사실상 완전한 완성을 달성하고 10~35ha 사이의 호수에 대해서는 거의 완전한 완성에 가깝다는 것을 나타내는 더 작은 호수에 대한 통계적 추정을 제공합니다.

3. 데이터 사양, 형식 및 배포

3.1 벡터 데이터 형식 및 배포

HydroLAKES는 두 개의 개별 GIS 레이어로 구성됩니다.

- 'HydroLAKES_polys_v10'에는 모든 호수 해안선 다각형이 포함됩니다.
- 'HydroLAKES_points_v10'은 모든 호수 유동점을 포함합니다.

각 HydroLAKES 레이어는 두 가지 형식으로 제공됩니다.

- ESRI® 지리 데이터베이스 내
- 독립형 ESRI® 셰이프파일

모든 버전에는 동일한 속성 정보가 포함되어 있습니다. 즉, 모든 호수 다각형 또는 유동점은 해당 속성 테이블에서 동일한 열을 갖습니다 (아래 표 2 참조).

지오데이터베이스 버전을 사용하려면 ESRI® ArcGIS(또는 호환 가능) 소프트웨어가 열려 있어야 합니다. 모든 기하학적, 투영 및 속성 정보는 지오데이터베이스 내에 포함됩니다.

Shapefile 버전은 오픈 소스 GIS 패키지를 포함하여 더욱 다양한 소프트웨어 제품에서 읽을 수 있도록 제공됩니다. 각 HydroLAKES 셰이프파일은 5개의 주요 파일(.dbf, .sbn, .sbx, .shp, .shx)로 구성되며 투영 정보는 ASCII 텍스트 파일(.prj)로 제공됩니다.

참고: GIS 소프트웨어가 없거나 셰이프파일을 해석하는 옵션이 없는 사용자는 140만 행을 읽을 수 있는 대체 스프레드시트 또는 데이터베이스 프로그램에서 'HydroLAKES_points_v10.dbf' 파일(dBASE IV 형식)을 가져올 수 있습니다. 이 파일에는 모든 속성 정보가 포함되어 있습니다.

HydroLAKES의 유동점 위치는 제공된 XY 좌표를 사용하여 플롯할 수 있습니다.

HydroLAKES 데이터는 <http://www.hydrosheds.org>에서 압축된 zip 파일 형식으로 전자적으로 제공됩니다. 데이터 파일을 사용하려면 먼저 zip 파일의 압축을 풀어야 합니다. 각 zip 파일에는 HydroLAKES 기술 문서의 사본이 포함되어 있습니다.

3.2 데이터 투영

HydroLAKES 레이어는 WGS84 데이터베이스를 참조하여 지리적(위도/경도) 투영으로 제공됩니다. ESRI® 소프트웨어에서 이 투영은 지리 좌표계 GCS_WGS_1984 및 데이터 D_WGS_1984에 의해 정의됩니다. 투영 정보는 분산된 데이터 레이어의 일부로 제공됩니다.

3.3 속성 테이블

표 2는 HydroLAKES의 지오데이터베이스 및 셰이프파일 형식과 관련된 속성 테이블에 포함된 열 구조와 정보를 보여줍니다. 지오데이터베이스 형식에서는 'OBJECTID' 필드와 'Shape_Length' 및 'Shape_Area' 필드가 기본적으로 ArcGIS 소프트웨어에 의해 추가됩니다. 이러한 필드는 공식적으로 HydroLAKES의 일부가 아닙니다.

HydroLAKES 기술 문서 v1.0

표 2: HydroLAKES 폴리곤 및 포인트 레이어의 속성 테이블.

| 열 | 설명 |
|-----------|--|
| Hylak_id | 고유한 호수 식별자입니다. 값 범위는 1부터 1,427,688까지입니다. |
| Lake_name | 호수 또는 저수지의 이름입니다. 이 필드는 현재 최소 500km2 면적의 호수에만 채워집니다 . GRanD 데이터베이스에서 이름을 사용할 수 있는 대규모 저수지의 경우; GLWD 데이터베이스에서 이름을 사용할 수 있는 작은 호수의 경우. |
| 국가 | 호수(또는 저수지)가 위치한 국가입니다. 국제 또는 국경을 넘는 호수는 해당 호수 유동점이 위치한 국가에 지정되며 국가 경계에 속하는 유동점에 대해서는 임의적일 수 있습니다. |
| 대륙 | 호수(또는 저수지)가 위치한 대륙. 지리적 대륙: 아프리카, 아시아, 유럽, 북미, 남미 또는 오세아니아(호주 및 태평양 제도) |
| 폴리_src | 원래 호수 다각형의 출처: CanVec; SWBD; 모디스; NHD; 에크린스; GLWD; 멋진; 또는 기타 이러한 데이터 소스에 대한 자세한 내용은 표 1에서 확인할 수 있습니다. |
| Lake_type | 호수 유형 표시기: 1: 호수 2: 저수지 3: 호수 제어(즉, 규제 구조를 갖춘 자연 호수) 모든 수역의 기본값은 1이며, 명시적으로 다른 유형으로 식별된 수역(주로 GRanD 데이터베이스의 정보를 기반으로 함)만 다른 값을 가집니다. 따라서 '호수' 유형에는 확인되지 않은 모든 항목도 포함됩니다. 인간이 만든 작은 저수지와 규제된 호수. |
| Grand_id | GRanD 데이터베이스에 있는 해당 저수지의 ID입니다. 해당 GRanD 기록이 없으면 값은 0입니다. 이 필드는 GRanD 데이터베이스의 추가 속성을 결합하는 데 사용할 수 있습니다. |
| 호수 지역 | 호수 표면적(즉, 다각형 면적)(제곱킬로미터). |
| Shore_len | 해안선의 길이(즉, 다각형 외곽선)(킬로미터). |

HydroLAKES 기술 문서 v1.0

| 열 | 설명 |
|-----------|--|
| Shore_dev | <p>해안선 발달은 해안선 길이와 동일한 면적을 가진 원의 둘레 사이의 비율로 측정됩니다.</p> <p>완벽한 원 모양의 호수는 해안선 발달도가 1이고, 값이 높을수록 해안선의 복잡성이 증가함을 나타냅니다.</p> |
| Vol_total | <p>총 호수 또는 저수지 부피(백만 입방미터)(1mcm = 0.001km³).</p> <p>대부분의 다각형에서 이 값은 Messenger et al의 지리통계 모델링 접근 방식을 사용하여 추정된 총 호수 볼륨을 나타냅니다. (2016). 그러나 보고된 호수 부피(호수 $\geq 500\text{km}^2$) 또는 보고된 저수지 부피(GRanD 데이터베이스에서)가 존재하는 경우 총 부피는 이 보고된 값을 나타냅니다. 규제된 호수의 경우, 총 부피는 보고된 저수지와 모델링되거나 보고된 호수 부피 사이의 더 큰 값을 나타냅니다. 'Vol_src' 열은 이러한 구별에 관한 추가 정보를 제공합니다.</p> |
| | <p>보고된 저수지 부피 또는 추가된 호수 규제의 저장 부피(백만 입방미터(1mcm = 0.001km³)).</p> <p>아무것도 원하지 않는다</p> <p>0: 저장소 용량 없음</p> |
| Vol_src | <p>1: 'Vol_total'은 문헌에서 보고된 총 호수 볼륨입니다.</p> <p>2: 'Vol_total'은 GRanD 또는 문헌에서 보고된 총 저수지 부피입니다.</p> <p>3: 'Vol_total'은 Messenger et al의 지리통계적 모델링 접근법을 사용하여 추정된 총 호수 부피입니다. (2016)</p> |
| 깊이_평균 | <p>평균 호수 깊이(미터)입니다.</p> <p>평균 호수 깊이는 전체 호수 부피('Vol_total')와 호수 면적('Lake_area') 간의 비율로 정의됩니다.</p> |
| Dis_avg | <p>호수를 통해 흐르는 평균 장기 유출량(초당 입방미터)입니다.</p> <p>이 값은 전 지구 수문학 모델인 WaterGAP에서 제공한 모델링된 유출 및 유출량 추정치에서 파생되었으며, HydroSHEDS의 15아크초 분해능으로 축소되었으며(자세한 내용은 섹션 2.2 참조) 호수 유동점 위치에서 추출되었습니다. 이러한 모델 추정치에는 특히 매우 낮은 유량에 대한 상당한 불확실성이 포함되어 있습니다.</p> <p>-9999: 호수 유동점이 HydroSHEDS 랜드마스크에 없으므로 데이터가 없습니다.</p> |
| Res_time | <p>호수 물의 평균 체류 시간(일)입니다.</p> <p>평균 체류 시간은 전체 호수 부피('Vol_total')와 평균 장기 유출량('Dis_avg') 간의 비율로 계산됩니다. 0.1 미만의 값은 더 짧은 체류 시간이 타당하지 않아(모델 오류를 나타낼 가능성이 높기 때문에) 0.1로 반올림됩니다.</p> <p>-1: 'Dis_avg'가 0이므로 계산할 수 없습니다.</p> <p>-9999: 호수 유동점이 HydroSHEDS 랜드마스크에 없으므로 데이터가 없습니다.</p> |

HydroLAKES 기술 문서 v1.0

| 열 | 설명 |
|-----------|--|
| 높이 | <p>호수 표면의 고도(해발 미터 단위)입니다.</p> <p>이 값은 주로 호수 경계 내에서 발견된 대부분의 픽셀 고도를 계산하여 90m 픽셀 해상도의 EarthEnv-DEM90 디지털 고도 모델에서 파생되었습니다. 북위도에 대한 이 DEM에 내재된 일부 인공물을 제거하기 위해 60°N 북쪽 지역에 대해 음의 고도를 나타내는 모든 호수 값을 1km 픽셀 해상도에서 USGS의 더 거친 GTOPO30 DEM을 사용한 결과로 대체하여 육지 표면 ≥ 0을 보장합니다. 이 지역에서, EarthEnv-DEM90의 남은 불확실성으로 인해 60°N 남쪽의 전 세계 해양 해안선을 따라 일부 작은 음수 값이 발생하며 이는 정확할 수도 있고 정확하지 않을 수도 있습니다.</p> |
| 경사_100 | <p>호수 다각형 주변 100미터 버퍼 내 평균 경사(도)입니다.</p> <p>이 값은 90m 픽셀 해상도의 EarthEnv-DEM90 디지털 고도 모델에서 파생됩니다. 각 픽셀의 경사는 셀 중심 사이의 측지선 거리를 근사화하여 지리적 좌표의 XY 간격 왜곡에 대한 위도 보정을 통해 계산되었습니다. EarthEnv-DEM90 디지털 고도 모델(83°N)의 북쪽 한계 위에 위치한 12개 호수의 경우 경사는 USGS의 GTOPO30 DEM에서 1km 픽셀 해상도로 계산되었습니다.</p> <p>-1: 가장 큰 호수에 대한 경사 값이 계산되지 않았습니다(다각형 면적 $\geq 500\text{km}^2$).</p> |
| Wshd_area | <p>호수와 관련된 유역의 면적(제곱킬로미터)입니다.</p> <p>유역 면적은 15아크초 분해능의 HydroSHEDS 배수 네트워크 맵을 사용하여 호수 유동점에 대한 상류 기여 면적을 도출하고 측정하여 계산됩니다.</p> <p>-9999: 호수 유동점이 HydroSHEDS 랜드마스크에 없으므로 데이터가 없습니다.</p> |
| For_long | 호수 유동점의 경도(십진수 도)입니다. |
| For_lat | 호수 유동점의 위도(십진수 도)입니다. |

4. 라이선스, 면책조항 및 승인

4.1 라이선스 계약



HydroLAKES 데이터베이스(버전 1.a)는 Creative Commons Attribution 4.0 International License에 따라 라이선스가 부여됩니다. 이 라이선스의 사본을 보려면 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>을 방문하십시오. 데이터를 다운로드하고 사용함으로써 사용자는 본 라이선스의 이용 약관에 동의하게 됩니다. 이 무료 라이선스에도 불구하고, 우리는 사용자에게 작성자의 명시적인 서면 허가 없이 데이터 전체를 원래 형식으로 다른 웹사이트에 재배포하는 것을 삼가할 것을 요청합니다. HydroLAKES는 <http://www.hydrosheds.org>에서 공개적으로 다운로드할 수 있습니다. HydroLAKES의 저작권 ©는 저자가 보유하며, 2016년 모든 권리는 보유됩니다.

4.2 보증의 부인

HydroLAKES 데이터베이스 및 여기에 포함된 모든 관련 자료는 상품성, 특정 목적에의 적합성, 비간섭, 시스템 통합에 대한 묵시적인 보증을 포함하되 이에 국한되지 않고 명시적이든 묵시적이든 어떠한 종류의 보증도 없이 "있는 그대로" 제공됩니다. , 또는 비침해. 데이터 사용에 따른 모든 위험은 사용자에게 있습니다. 사용자는 데이터에 일부 부적합, 결함 또는 오류가 포함될 수 있음을 명시적으로 인정합니다. 저자는 데이터가 사용자의 요구나 기대를 충족시키거나 데이터 사용이 중단되지 않거나 모든 부적합, 결함 또는 오류가 수정될 수 있거나 수정될 것이라고 보증하지 않습니다.

저자는 이러한 데이터에 대한 의존을 유도하지 않으며 사용자는 항상 실제 데이터를 확인해야 합니다.

4.3 책임의 제한

어떠한 경우에도 저자는 대체 상품 또는 서비스 조달 비용, 이익 손실, 판매 또는 사업 지출 손실, 투자 또는 비즈니스와 관련된 약속, 영업권 손실 또는 직간접적, 특수적 손해에 대해 책임을 지지 않습니다. , HydroLAKES 데이터베이스 및 관련 자료의 사용으로 인해 발생하는 우발적, 예시적 또는 결과적 손해(책임 이론에 따라 발생 여부와 상관없이), 그리고 저자가 그러한 손해의 가능성에 대해 통보받았는지 여부. 이러한 제한은 배타적 구제책의 본질적인 목적이 달성되지 않은 경우에도 적용됩니다.

4.4 감사의 말과 인용

데이터를 사용하여 생성된 모든 출판 자료에서 HydroLAKES를 인용해 주시기 바랍니다. 가능하다면 호스팅 웹사이트 (<http://www.hydrosheds.org>)에 대한 온라인 링크를 이용하세요. 제공되어야 합니다.

HydroLAKES가 사용자 연구에 중요한 구성 요소를 나타내거나 중요한 연구 결과 또는 결론이 여기에 달려 있는 경우, 사용자가 HydroLAKES 저작자(대표자)에게 공동 저작권을 제공할 것을 요청드립니다. 의심스러운 경우 bernhard.lehner@mcgill.ca로 해당 작성자에게 문의하세요.

HydroLAKES 데이터의 인용 및 승인은 다음과 같이 이루어져야 합니다.

Messenger, ML, Lehner, B., Grill, G., Nedeva, I., Schmitt, O. (2016): 지리통계적 접근 방식을 사용하여 전 세계 호수에 저장된 물의 양과 나이를 추정합니다. 네이처 커뮤니케이션즈: 13603. doi: 10.1038/ncomms13603. 데이터는 www.hydrosheds.org에서 확인할 수 있습니다.

5. 참고자료

Carroll, ML, JR Townshend, CM DiMiceli, P. Noojipady 및 RA Sohlberg(2009), 250m 해상도의 새로운 글로벌 래스터 워터 마스크, *International Journal of Digital Earth*, 2(4), 291-308, doi: 10.1080 /17538940902951401. 온라인으로 제공되는 데이터(<http://glcf.umd.edu/data/watermask/>), 2014년 5월 액세스, 편집됨.

Döll, P., F. Kaspar 및 B. Lehner(2003), 물 가용성 지표 도출을 위한 글로벌 수문학 모델: 모델 조정 및 검증, *Journal of Hydrology*, 270(1), 105-134.

유럽 환경청(2012), ECRINS(유럽 집수지 및 강 네트워크 시스템): 호수. 버전 1, 온라인으로 제공되는 데이터(<http://projects.eionet.europa.eu/ecrins>), 2013년 6월 액세스, 편집됨.

Herdendorf, CE (1982), 세계의 큰 호수, *Great Lakes Research 저널*, 8(3), 379-412, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0380-1330\(82\)71982-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0380-1330(82)71982-3).

Lehner, B. 및 P. Döll(2004), 호수, 저수지 및 습지에 대한 글로벌 데이터베이스 개발 및 검증, *Journal of Hydrology*, 296(1), 1-22, doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.03.028.

Lehner, B. 및 G. Grill(2013), 글로벌 하천 수로학 및 네트워크 라우팅: 세계의 대규모 하천 시스템을 연구하기 위한 기준 데이터 및 새로운 접근 방식, *Hydrological Processes*, 27(15), 2171-2186, doi: 10.1002/hyp .9740.

Lehner, B., K. Verdin 및 A. Jarvis (2008), 우주 고도 데이터에서 파생된 새로운 글로벌 수로학, *EOS*, 89(10), 93-94, doi: 10.1029/2008EO100001.

Lehner, B., CR Liermann, C. Revenga, C. Vörösmarty, B. Fekete, P. Crouzet, P. Döll, M. Endejan, K. Frenken, J. Magome(2011), 지속 가능한 하천 흐름 관리를 위한 세계 저수지 및 댐의 고해상도 매핑, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(9), 494-502, doi: 10.1890/100125.

Messenger, ML, B. Lehner, G. Grill, I. Nedeva 및 O. Schmitt(2016), 지리통계적 접근 방식을 사용하여 전 세계 호수에 저장된 물의 양과 나이를 추정합니다. *네이처 커뮤니케이션즈(Nature Communications)*, 13603, doi: 10.1038/ncomms13603. 데이터는 www.hydrosheds.org에서 확인할 수 있습니다.

캐나다 천연자원(2013), CanVec 수로학: 수역 특징. 버전 12.0. 온라인으로 제공되는 데이터(<ftp://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/canvec/>), 2013년 5월 액세스, 편집됨.

Robinson, N., J. Regetz 및 RP Guralnick(2014), EarthEnv-DEM90: 융합된 ASTER 및 SRTM 데이터에서 얻은 거의 전역적이고 공백이 없으며 다중 규모로 평활화된 90m 디지털 표고 모델, *ISPRS Journal of Photogrammetry 및 원격 탐사*, 87, 57-67, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2013.11.002.

Slater, JA, G. Garvey, C. Johnston, J. Haase, B. Heady, G. Kroenung 및 J. Little(2006), SRTM 데이터 "마무리" 프로세스 및 제품, 사진 측량 엔지니어링 및 원격 감지, 72(3), 237-247, doi: <http://dx.doi.org/10.14358/PERS.72.3.237>.

미국 지질 조사국(2013), 국립 수로 지리 데이터베이스: 알래스카. <http://nhd.usgs.gov/> 또는 The National Map Viewer(<http://viewer.nationalmap.gov/viewer/nhd.html?p=nhd>)를 통해 제공되는 데이터(2013년 7월 액세스, 편집됨).

Winslow, LA, JS Read, PC Hanson 및 EH Stanley(2014), 인접한 미국의 호수 해안선: 수량, 분포 및 관측 해상도에 대한 민감도. *담수생물학*, 59, 213-223, doi:10.1111/fwb.12258.