

초청 블로그: 변화하는 바다, 과학으로 북태평양 콩치 자원 보호하기

저자:

김지환 박사, [Collecte Localisation Satellites \(CLS\) Group](#)

물리해양학자로서, 저는 북태평양수산물위원회(NPFC, [North Pacific Fisheries Commission](#)))에서의 활동을 포함하여, 해양과 해양이 지탱하는 귀중한 수산자원 간의 복잡한 상호작용을 이해하려 노력하였습니다. 특히 기후변화가 북태평양 해양 생태계, 그 중에서도 우리의 귀한 자원인 콩치에게 어떤 어려움과 영향을 주는지를 연구해 왔습니다.



사진: 2023년 12월 캐나다 BC주 나나이모에서 열린 NPFC 과학위원회(SC) 및 산하 기구 회의.

지난 수십 년간 수산 관리는 주로 어업 활동을 규제하는 데 초점을 맞춰 왔습니다. 어획 노력이 어족 개체 수 변화의 주된 원인이라는 것은 잘 알려진 사실이고, 수산 과학자들은 어업이 어류 생체량에 미치는 영향을 꾸준히 연구하고 있습니다. 하지만 이 모든 시스템의 기반이 되는 해양 환경 자체가 기후변화로 인해 근본적으로 바뀌고 있습니다. 이러한 위협적인 현실 앞에서 우리는 좀 더 다각적인 시각을 가져야 합니다. 바다 환경만으로 어획량의 모든 변동을 설명할 수는 없지만, 그 영향을 이해하는 것은 갈수록 중요해지고 있습니다. 저는 여기서 한 걸음 더 나아가, 만약 어획 노력(어획관련 선박의 수, 어획일수, 기술의 진보 등)이 비교적 일정하다고 가정했을 때, 기후변화와 같은 장기적인 환경 변동이 어류 자원량에 직접적으로 어떤 영향을 미치는지 살펴보고자

합니다. 이런 접근은 바다의 역할을 분리해서 더 잘 이해하고, 나아가 과학에 기반한 관리 절차(MP, Management Procedures) 또는 어획 전략(Harvest Strategy)이라 불리는 방법들을 개발하여 수산자원을 더 효과적으로 관리하는 데 도움을 줄 수 있습니다.

한때 우리 시장과 식탁에서 흔히 볼 수 있었던 꽂치가 이제는 귀한 몸이 되었습니다. 이걸 그저 개인적인 느낌이 아닙니다. 데이터가 냉정한 현실을 말해주고 있습니다. **그림 1**의 검은색 선은 1950년부터 2022년까지 북태평양 꽂치 어획량을 보여줍니다. 빨간색선은 북태평양 환류 진동(NPGO) 지수의 변동을 보여줍니다 (NPGO 데이터는 2년의 시차를 두었습니다). 두 시계열 자료가 비슷한 양상을 보이고 있고, 특히나 최근 어획량 감소(예: 2010년 이후)는 NPGO 지수가 양(+)에서 음(-)으로 바뀐 시점과 맞물립니다. 기후 변화로 인한것인지는 설명할 수 없지만, 해양환경 변동이 어획량과 연관이 된다는 간접적인 증거로 볼 수 있습니다.

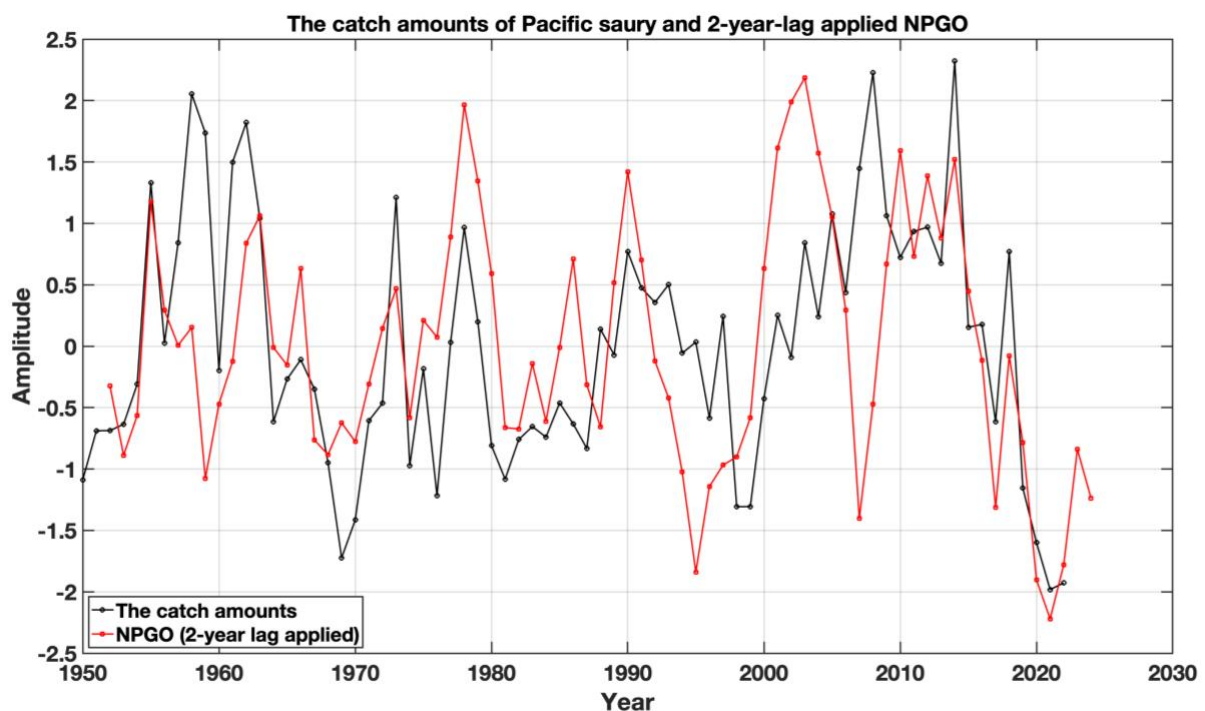


그림 1. 북태평양 꽂치의 연간 어획량 정규화 값과 북태평양 환류 진동(NPGO) 지수의 유사한 변동성 (NPGO 데이터에 2년 지연 적용).

엘니뇨처럼 널리 알려진 대규모 기후 현상 외에도, 북태평양에는 해수면 온도와 해양 생태계에 영향을 주는 태평양 십년 주기 진동(PDO)이나 북태평양 환류 진동(NPGO) 같은 중요한 지표들이 있습니다. 어획 노력이 일정하다고 가정하고 환경 요인만을 분리해 분석한 제 [연구](#) 결과, **그림 1**에서도 알 수 있듯이, 북태평양 환류 진동(NPGO)이 꽂치 어획량 변동에 더 결정적인 영향을 미치는 것으로 보입니다.

그렇다면 NPGO와 같이 광범위한 해양 패턴이 특정 어종에게는 어떻게 영향을 미치는 걸까요? 이런 대규모 기후 패턴은 주요 해류에 영향을 주는데, 이 해류들은 해양 생물들에게는 이동 통로이자 장벽이 되기도 합니다. 또한 꽁치 같은 소형 부어류의 주된 먹이가 되는 식물성 플랑크톤과 동물성 플랑크톤의 분포와 양을 바꿔놓습니다. 이로 인해 기후 패턴의 변화가 꽁치 어획량에 영향을 줄 수 있습니다. 뿐 만 아니라 기후 변화 그 자체도 해양환경에 영향을 주고 있습니다. 그 결과, 우리는 꽁치의 회유 경로가 변하는 것을 목격하고 있습니다. 기후변화의 뚜렷한 징후인 최근의 해수면 온도 상승은 꽁치들이 빠르게 변하는 바다에서 적절한 수온과 먹이를 찾아 어장을 점점 더 동쪽으로 옮겨가도록 만들고 있습니다. 이처럼 NPGO의 영향을 받은 변화와 전반적인 온난화 추세는 꽁치의 회유 경로, 산란 시기, 전통적인 먹이 터의 적합성에 영향을 줄 수 있습니다.

제 연구에서 가장 흥미로운 발견 중 하나는, 어획 노력이 비교적 일정하다는 가정 하에 꽁치 어획량 데이터와 NPGO 패턴을 함께 분석했을 때 나타나는 예측력입니다. 그림 1에서 보시듯, 놀랍도록 강한 상관관계가 나타났는데, NPGO 지수의 특정 변화가 약 2년 뒤의 꽁치 어획량 변화를 예고할 수 있다는 것입니다.

NPGO와 관련된 꽁치의 이러한 변화가 단순히 자연적인 변동성(엘니뇨-남방진동(ENSO), 태평양 십년 주기 진동(PDO), 북태평양 환류 진동(NPGO) 등) 때문인지, 아니면 광범위한 기후변화 때문에 더욱 심화되고 있는지는 중요한 질문입니다. 제 연구는 NPGO의 단계와 꽁치 어획량/분포 사이의 통계적 관계에 초점을 맞췄지만, 북태평양이 상당한 온난화를 겪고 있으며 이는 주로 기후변화 때문이라는 것은 널리 알려진 사실입니다. 이러한 전반적인 온난화 추세, 특히 전통적인 꽁치 어장에서의 온난화는 NPGO와 같은 자연적인 기후 패턴과 분명 상호작용합니다. 일부 과학 문헌에서는 기후변화 자체가 이러한 대규모 진동의 행태와 변동성에 영향을 미칠 수 있다고도 합니다. 따라서 NPGO 자체의 주기적인 특성과 기후변화의 전반적인 영향이 서로 얽혀 꽁치의 변화에 영향을 미치고 있을 가능성이 높다고 할 수 있습니다.

이러한 원인들이 정확히 어떻게 작용하는지와는 별개로, NPGO와 꽁치 어획량 관계에서 나타나는 2년의 예측 시간은 매우 유용한 과학적 도구를 제공합니다. 이를 통해 우리는 이러한 환경 변화로 인한 미래의 잠재적 변동을 미리 내다볼 수 있습니다. 이러한 예측 정보는 매우 중요합니다. 수산 과학자들이 수행하는 어업 영향 분석과 함께 고려한다면, 변화하는 바다에서 꽁치를 가장 효과적으로 보호하기 위한 관리 절차(MP) 같은 과학적 도구를 개발하고 다듬을 수 있는 귀중한 기회를 얻게 되는 셈입니다.

북태평양수산위원회(NPFC)는 이러한 복잡한 문제들에 맞서기 위해, 기후변화 요소를 관리 절차(MP)와 자원평가에 통합하는 노력을 이끌면서, 동시에 어업 활동 관리도 꾸준히 해나가고 있습니다. 바로 이 지점에서 제 연구 같은 노력들이 기여할 수 있습니다. 환경적인 실타래를 풀어내는 데 도움으로써, 막연했던 기후 위험을 관리 가능하고 실행 가능한 정보로 바꿀 수 있기 때문입니다. 이러한 과학적 기반은 NPFC가 기후변화와 다른 압력들이 가져오는 불확실성에도 잘 견딜 수 있도록 설계된, 더욱 정교하고 튼튼한 관리 절차(MP)를 개발하는 데 힘을 실어줍니다.

이러한 노력에 있어 특히 강력한 도구 중 하나가 바로 관리전략평가(MSE, Management Strategy Evaluation)입니다. MSE는 과학자들과 관리자들이 (제 NPGO 연구에서 밝혀진 것과 같은) 환경 및 기후 영향을 포함한 다양한 조건 하에서 전체 수산 시스템을 시뮬레이션하는 과정입니다. 목표는 여러 관리 절차(MP)들이 사전에 합의된 목표를 얼마나 잘 달성하는지 시험해보고, 현실 세계의 불확실성과 변화하는 상황 속에서도 최상의 성과를 낼 가능성이 높은 관리 방식을 찾아내는 것입니다. 예를 들어, 제 NPGO 연구는 MSE 내의 '운영 모델(operating models)'에 물리 해양학적 정보를 제공하여, 기후변화로 인한 시나리오를 포함한 현실적인 환경 시나리오를 설정하고, 이를 바탕으로 관리 전략들을 엄격하게 테스트하는 데 도움을 줄 수 있습니다.

NPFC는 쾅치 관리와 과학적 이해를 높이는 데 있어 눈에 띄는 성과를 거두었습니다. 주요 이정표로는 2024년에 이 어종에 대한 첫 번째 포괄적인 자원평가를 마무리했고, 이를 통해 총허용어획량(TAC, Total Allowable Catch)을 설정한 것을 들 수 있습니다. 이를 바탕으로, 예비 시뮬레이션 테스트를 거쳐 2024년에 잡정 어획관리규칙(HCR, Harvest Control Rule)을 채택하여, TAC 결정을 위한 과학적 틀을 마련했습니다. 장기적인 지속 가능성을 더욱 강화하기 위해, NPFC는 선제적으로 쾅치 관리전략평가(MSE)를 위한 특별 소위원회(SWG MSE PS)를 구성했습니다. 정기적인 회의를 열고 외부 전문가를 초청하는 이 소위원회는 완전한 MSE 개발이라는 중요한 임무를 맡고 있습니다. 이 소위원회가 견고한 MSE 개발을 계속해 나감에 따라, NPFC는 이러한 평가 과정에서 해수온도의 상승, (쾅치 어획의 동쪽으로의 이동 같은) 회유 패턴 변화, 해양 열파 등 기후 관련 시나리오들을 명확히 고려하고 통합하여, 미래를 대비하는 진정으로 회복력 있는 관리 절차를 만들어나가는 것이 매우 중요합니다.

기후변화의 영향을 폭넓게 이해하기 위해, NPFC는 북태평양해양과학기구(PICES)와 같은 국제 과학기구들과의 협력을 적극적으로 강화하고 있습니다. NPFC는 또한 북태평양 해양 지식 네트워크 구축을 목표로 하는 '유역 규모 현상 및 연안 영향(BECD)' 프로젝트 같은 계획들도 지원하고 있습니다. 뿐만 아니라, NPFC는 다른 지역수산관리기구들과의 데이터 공유 협정을 활용하여 공동 협력 분야를 발굴하고, 기후변화를 고려한 관리 절차에 대한 모범 사례를 공유할 수 있습니다.

NPFC의 목표는 다양한 기후변화 시나리오에 따라 미래의 어장과 자원 생산성을 예측할 수 있는 모델을 만드는 것입니다. 환경 변화의 가능성을 보여드리기 위해, **그림 2**는 쾅치의 주 어획철(8월~12월) 동안 북태평양의 해수면 온도(SST) 변화 예측을 나타냅니다. 이 예측들은 공통사회경제경로(SSP, Shared Socioeconomic Pathways)라는 여러 시나리오에 기반한 것입니다. SSP는 기후 과학자들이 다양한 수준의 온실가스 배출과 그로 인한 기후변화를 모델링하는 데 사용하는 미래 사회경제 발전 시나리오입니다.

그림 2의 지도를 보면, 모든 SSP 시나리오에서 일관되면서도 우려스러운 경향이 나타납니다. 바로 쾅치 주 어획철에 북서태평양의 해수면 온도가 크게 상승할 것이라는 예측입니다. 이러한 온난화는 결코 가볍게 볼 문제가 아닙니다. 수온에 민감한 쾅치

같은 어종에게, 주된 먹이 활동과 회유 기간 동안 수온이 이렇게 지속적으로 상승하면 엄청난 결과를 초래할 수 있습니다. 따뜻해진 바닷물은 꽁치의 전통적인 회유 경로를 바꾸어, 더 차갑고 살기 좋은 서식지를 찾아 더 동쪽으로 이동하게 만들 수 있습니다. 이러한 변화는 어장이 어디에 형성될지에 영향을 줄 뿐만 아니라, 산란장과 어린 시기의 발달에 영향을 미쳐 생존율을 떨어뜨리고 번식 성공률을 낮출 수도 있습니다. 따라서 다양한 기후 시나리오 하에서 전체 어획 시즌 동안 예측되는 이러한 해수면 온도 변화를 이해하는 것은 견고하고 미래를 내다보는 관리 전략을 개발하는 데 매우 중요합니다. 이렇게 여러 시나리오와 여러 달에 걸친 정보를 한꺼번에 보여드리는 것이 다소 복잡해 보일 수 있지만, NPFCC의 관리 전략이 앞으로 마주하게 될 다양한 미래 상황을 폭넓게 이해하는 데 꼭 필요합니다.

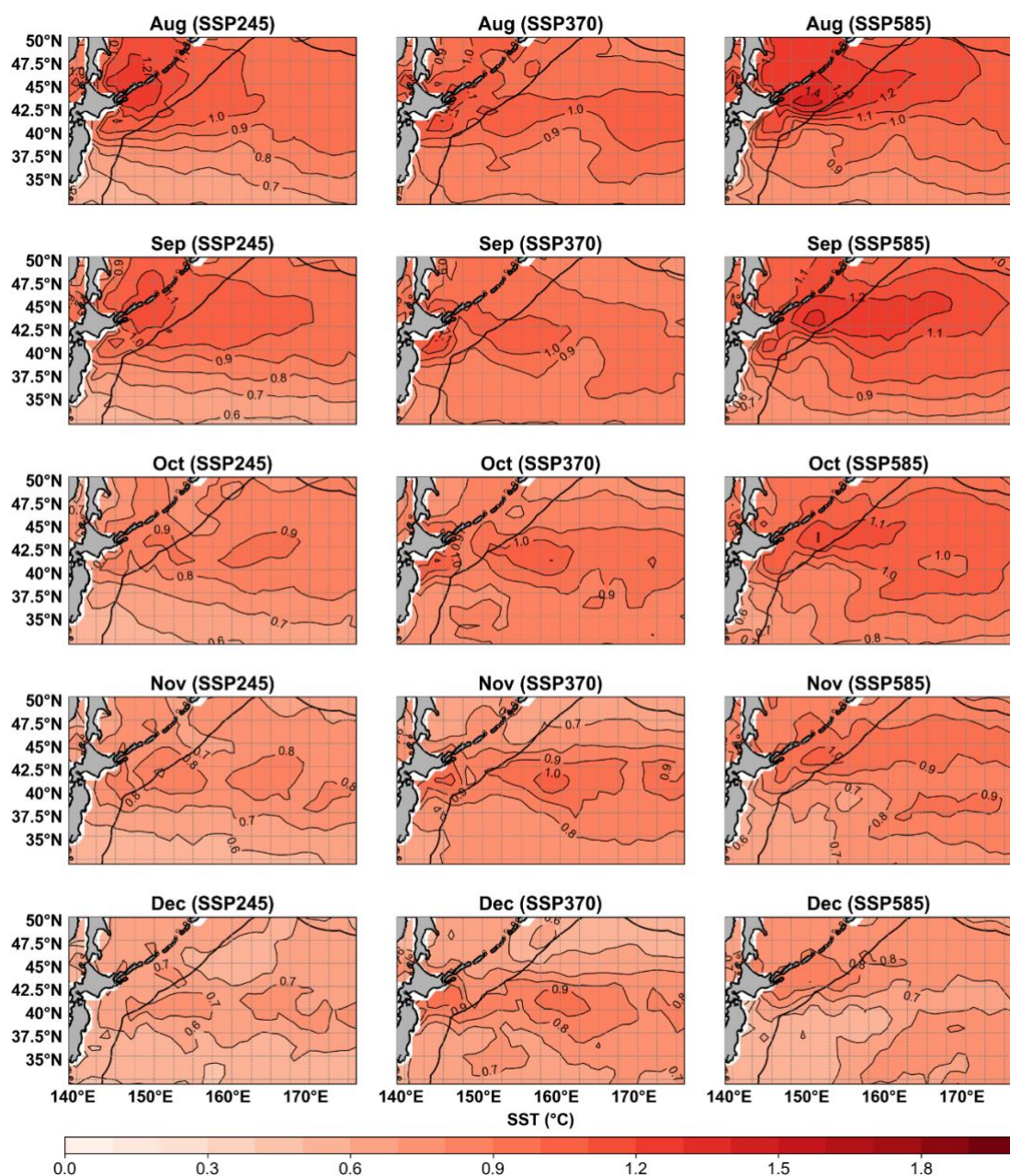


그림 2: 2023년부터 2044년까지 북태평양의 8월-12월 해수면 온도(SST) 변화 예측.

변화하는 북태평양을 들여다보면 냉정한 현실과 마주하게 됩니다. 기후변화는 계속되는 어업의 영향과 맞물려 우리에게 심각한 과제를 던지고 있습니다. 하지만 우리는 단호하고 협력적으로 대응하고 있습니다. 저의 바람은 (환경적 신호만을 분리해 보기 위한 특정 가정하에 진행된) NPGO 영향에 관한 제 연구 같은 과학적 노력들이 기후변화에 잘 적응하는 관리 절차(MP)를 만드는 데 꼭 필요한 디딤돌이 되는 것입니다. 이러한 도구들은 불확실한 미래에 대비하고, 모든 주요 원인들을 고려하여 이 소중한 자원들을 지켜낼 수 있도록 관리 방식이 회복력을 갖고 제 기능을 다하도록 하는 데 그 목적이 있습니다.

앞으로 가야 할 길은 복잡하겠지만, 환경적 요인과 인간 활동의 영향 모두를 아우르는 주요 원인들을 고려한 과학 기반의 의사 결정에 대한 우리의 의지는 한 줄기 희망을 보여줍니다.



사진: 수산업의 미래 - 일본, 중국, 한국(왼쪽부터)에서 온 20대 젊은 과학자들과 정부 관계자들이 일본에서 열린 과학위원회 회의에 함께했습니다. 이 세 나라는 역사적으로 복잡한 관계를 겪어왔지만, 북태평양 수산자원 보존이라는 공동의 목표 앞에서는 하나로 뭉쳐 힘쓰고 있습니다.

김지환 박사는 [CLS\(Collecte Localisation Satellites\)](#) 그룹의 해양학 엔지니어입니다.

이전에는 [북태평양수산위원회\(NPFC\)](#)에서 수산 및 데이터 과학자로 근무했습니다.