

해저드리터러시 융합교육연구소

해저드리터러시 교육 프로그램

해저드 리터러시
융합 교육 연구소

화학물질 유출,
거리와 바람으로 위험 계산하기



1. 수업 프로그램 설명

본 프로그램은 화학물질 유출 사고의 피해가 왜 장소마다 다르게 나타나는지를 이해하도록 만든 교육 프로그램이다. 같은 양이 새어 나와도, 얼마나 많이·얼마나 멀리·어느 바람 방향으로·언제 유출됐는가 같은 '물리적 조건'과, 공장이 어디에 있는지·근처에 사람이 사는지·그 지역의 형편은 어떤지 같은 '사회적 조건'이 함께 작용해 피해의 범위와 정도가 달라진다. 학습자는 이 차이를 막연히 느끼는 데서 그치지 않고, 수와 그래프, 좌표를 이용해 직접 모델로 만들어 본다. 구체적으로 학습자는 거리에 따라 농도가 어떻게 변하는지 그래프로 그리고, 바람 방향을 변수로 넣어 위험 구역을 지도에 그려 본다. 또 환경부의 화학물질배출량조사(PRTR) 자료를 이용해 사업장마다 '위험 점수'를 매기는 식을 스스로 만들고 계산한다. 그리고 자신이 만든 예측 문제를 다른 모둠과 바꿔 풀어 보며, 수학·과학으로 만든 모델이 재난 위험을 예측하고 설명하는 도구가 될 수 있음을 직접 경험한다. 동시에 이 모델이 담지 못하는 것들 — 위험 정보를 얼마나 쉽게 얻을 수 있는지, 스스로 대피할 수 있는지, 어떤 형태의 집에 사는지 등 — 도 함께 짚는다. 이를 통해 유해 시설을 어디에 두는가의 문제를 환경 정의·재해·재난 정의 관점에서 비판적으로 바라보도록 한다.

수업 대상	중·고등학생	교육 방법	강의, 사례탐구, 수학·과학적 모델링
운영 장소	일반 교실(모둠 활동이 가능한 공간)	수업 시간	총 100분(50분 × 2차시, 역할극 활동 포함)
준비물	활동지, 필기도구, 스마트기기(휴대폰 또는 태블릿), 사례 자료(영상 및 사진), PPT 자료		

2. 교육 프로그램 목표(해저드리터러시 연계)

① 화학물질 유출 사고의 발생 원인과 전개 과정을, 누출량·거리·풍향·시간 등 변수의 관점에서 이해하고 설명할 수 있다.

② 국내외 화학물질 유출 사례를 비교하여, 동일한 사고 상황에서도 거리·풍향 등 물리적 조건과 입지·주거 환경 등 사회적 조건에 따라 피해가 다르게 나타남을 그래프·자료로 분석할 수 있다.

③ 농도-거리 관계와 PRTR 데이터를 활용하여 '위험 반경 예측 모델(위험 점수 함수)'을 설계하고, 직접 만든 예측 문제를 다른 모둠과 교환하여 풀 수 있다.

④ 두 모델이 설명하지 못하는 사회적 변수를 짚어, 유해 시설 입지의 불평등 문제를 환경 정의 및 재해·재난 정의 관점에서 이해할 수 있다.

목표	지식·이해		사고·기능					가치·태도			심리·정서			행동·실천		
	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3
목표①	O	O				O										
목표②		O	O	O	O	O										
목표③				O	O		O							O		O
목표④							O	O	O			O			O	

3. 핵심 개념

· 화학물질 유출 사고의 발생 원리(저장·운반·취급 과정의 위험 요인)
· 농도-거리 관계와 확산 모형(거리·풍향·시간에 따른 노출 농도 변화)
· 위험 반경·위험 구역의 정량적 표현(그래프·좌표·동심원/타원)
· 변수와 가중치를 이용한 '위험 점수' 함수 설계와 정량 비교
· 환경 정의(Environmental Justice)와 유해 시설 입지의 불평등
· 재해·재난 정의(Disaster Justice)와 알 권리(Right-to-Know)
· 모델의 한계: 수로 잡히지 않는 사회적 변수(정보 접근성·대피 능력)

4. 프로그램 전개

활동의 전개	
도입	·화학물질 유출 뉴스 영상·사례를 제시하여 학습자의 관심을 유도한다. ·"같은 양이 유출돼도 피해 범위는 왜 다를까?"라는 질문을 제시한다. ·거리·풍향·시간 같은 변수에 주목하여, 위험을 '수와 그래프'로 다룰 수 있음을 안내한다.
활동1	·유출의 발생 원인(저장·운반 사고, 노후 시설, 관리 부실)과 전개 과정을 이해한다. ·농도-거리 자료로 그래프를 그리고, 거리가 멀어질 때 농도가 어떻게 변하는지 기울기로 해석한다. ·국내외 사례에서 '위험을 키운 변수'를 함께 추출한다.
활동2	·풍향·시간을 변수로 넣어 위험 구역을 '동심원→타원'으로 보정하고 좌표로 표현한다. ·환경부 PRTR에서 우리 지역 사업장 배출 정보를 검색한다. ·배출량·거리·유해도를 변수로 한 '위험 점수' 함수를 설계하고 사업장 3곳을 계산·비교한다.
활동3	·모둠별로 '위험 반경 예측 문제'를 만들어 다른 모둠과 교환해 풀고, 풀이를 공유한다. ·모델이 설명하는 것과 설명하지 못하는 것을 구분한다. ·정보 접근성·대피 능력 등 '수로 잡히지 않는 변수'를 환경 정의·재해·재난 정의 관점에서 토의한다.
정리	·수학·과학적 모델이 재난 위험 예측·설명의 도구가 됨을 이해한다. ·동시에 모델의 한계를 알고, 더 취약한 집단을 우선 보호해야 함을 이해한다. ·재난을 과학적 현상과 사회적 문제의 관점에서 통합적으로 바라본다.

5. 재해·재난 이해를 위한 이론적 배경과 활동 사례

우리나라는 산업화 과정에서 다수의 화학 공단과 산업 단지가 조성되었으며, 노후 시설·관리 부실·운반 사고 등을 원인으로 한 화학물질 유출 사고가 반복되어 왔다. 2012년 구미 불산 누출 사고처럼 단시간에 다량의 유해 물질이 대기로 방출되면 인근 주민의 호흡기 건강, 농작물, 토양·수질에 광범위한 영향을 미친다. 이때 노출 농도와 위험 반경은 누출량뿐 아니라 공장과 주거지 사이의 거리, 풍향, 누출 시점 같은 물리적 변수에 따라 달라지므로, 이를 수와 그래프로 다루면 '피해가 왜 다르게 나타나는가'를 정량적으로 설명할 수 있다.

동시에 화학 공장은 산업 단지나 그 인근 저소득 주거 지역에 입지하는 경향이 있어, 같은 사고라도 거주지의 사회·경제적 조건에 따라 피해의 양상과 규모가 달라진다. 유해 시설이 취약한 지역에 집중되는 현상은 환경 정의(environmental justice) 관점에서 오래 논의되어 왔고(Bullard, 1990; Mohai, Pellow, & Roberts, 2009), 재난 피해·회복의 기회가 구성원 간에 다르게 나타난다는 점은 사회 정의 프레임워크를 이론적 토대로 한 재해·재난 정의(disaster justice) 관점에서 분배적·절차적·상호작용적 측면으로 해석할 수 있다(Lukasiewicz & Baldwin, 2014).

본 프로그램은 화학물질 유출 분석을 ① 1차시(영화 「다크 워터스」(2019)·환경부 자료로 변수 추출, 농도-거리 그래프와 풍향 작도를 통한 인지·모델 기초)와 ② 2차시('위험 반경 예측 모델링 PBL')의 두 단계로 구성한다. 2차시는 '변수 정의 - 위험 점수 함수 설계 - PRTR 실제 데이터 적용·계산 - 예측 문제 만들어 교환·풀이 - 모델 검증·한계 토의'의 5단계로 진행되며, 학습자는 자신이 만든 모델로 위험을 예측하고, 직접 만든 문제를 교환해 풀며, 끝으로 모델이 포착하지 못하는 사회적 변수를 재해·재난 정의 관점에서 비판적으로 점검한다.

6. 지도상 유의점

- 위험 점수 함수는 '정답이 하나'가 아님을 분명히 한다. 변수 선택과 가중치는 모둠마다 다를 수 있으며, 중요한 것은 결과 값이 아니라 '왜 그렇게 설계했는가'의 근거임을 강조한다.
- 계산·작도에 자신 없는 학생도 참여할 수 있도록, 그래프 읽기·좌표 표시 등은 단계별 예시를 제공하고 모둠 내 역할(자료 검색·계산·작도·발표)을 분담하도록 안내한다.
- 유출의 원인을 시설 노후화나 작업자 과실 같은 단일 요인으로 단순화하지 않도록 하고, 입지·안전 관리·정보 공개 제도·주거 환경 등 다양한 요인이 함께 작용함을 이해하도록 지도한다.
- 모델이 '수로 잡히는 위험'만 다룬다는 점을 분명히 하여, 정보 접근성·대피 능력 같은 사회적 변수를 개인 책임이 아닌 구조적 조건의 문제로 인식하도록 안내한다.
- PRTR 등 실제 데이터를 다룰 때 특정 기업·지역에 대한 일방적 비난으로 흐르지 않도록 하고, 검증된 1차 자료에 근거하여 해석하도록 지도한다.

7. 참고문헌

- Bullard, R. D. (1990). Dumping in Dixie: Race, class, and environmental quality. Westview Press.
  Mohai, P., Pellow, D., & Roberts, J. T. (2009). Environmental justice. Annual Review of Environment and Resources, 34, 405-430.
- Lukasiewicz, A., & Baldwin, C. (2014). Voice, power, and history: Ensuring social justice for all stakeholders in water decision-making. Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability, DOI: 10.1080/13549839.2014.942261

1차시: 같은 양이 유출돼도, 위험 범위는 왜 다를까?



주제	거리·풍향·시간으로 보는 화학물질 확산
무엇을 배울까요?	① 화학물질 유출의 발생 원인과 전개 과정을 변수의 관점에서 이해한다. ② 농도–거리 그래프와 풍향 작도를 통해 위험 범위가 달라지는 까닭을 정량적으로 설명한다.

활용 자료: 영화 「다크 워터스」(2019) 소개 영상 · 화학물질 유출 뉴스(2025.10, MBC충북) · 환경부 화학물질 배출량조사(PRTR) icis.mcee.go.kr/prtr

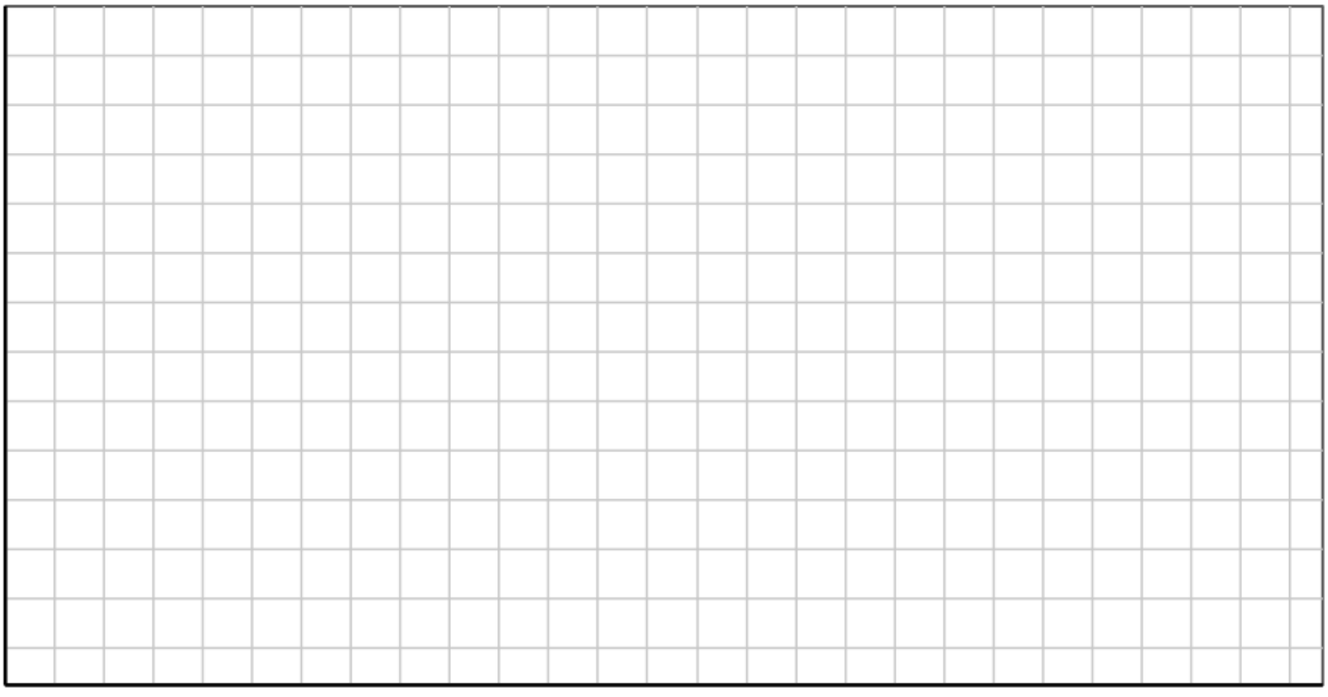
1 사건 파일 — 위험을 키운 '변수' 찾기

- 영상 자료를 보고 피해를 키운 변수를 '느낌'이 아니라 '수로 잴 수 있는 것' 위주로 적어 봅시다. 피해 크기를 좌우한 변수 3가지를 쓰고, 각 변수가 커지면 위험이 커지는지 작아지는지 표시합시다.

변수(수로 잴 수 있는 것)	커지면 위험은? (↑ / ↓)

2 농도–거리 그래프 — 멀어지면 얼마나 옅어지나

- 교사가 제시한 '거리–농도' 자료를 모눈종이에 그래프로 그립시다. (가로축: 거리, 세로축: 농도)

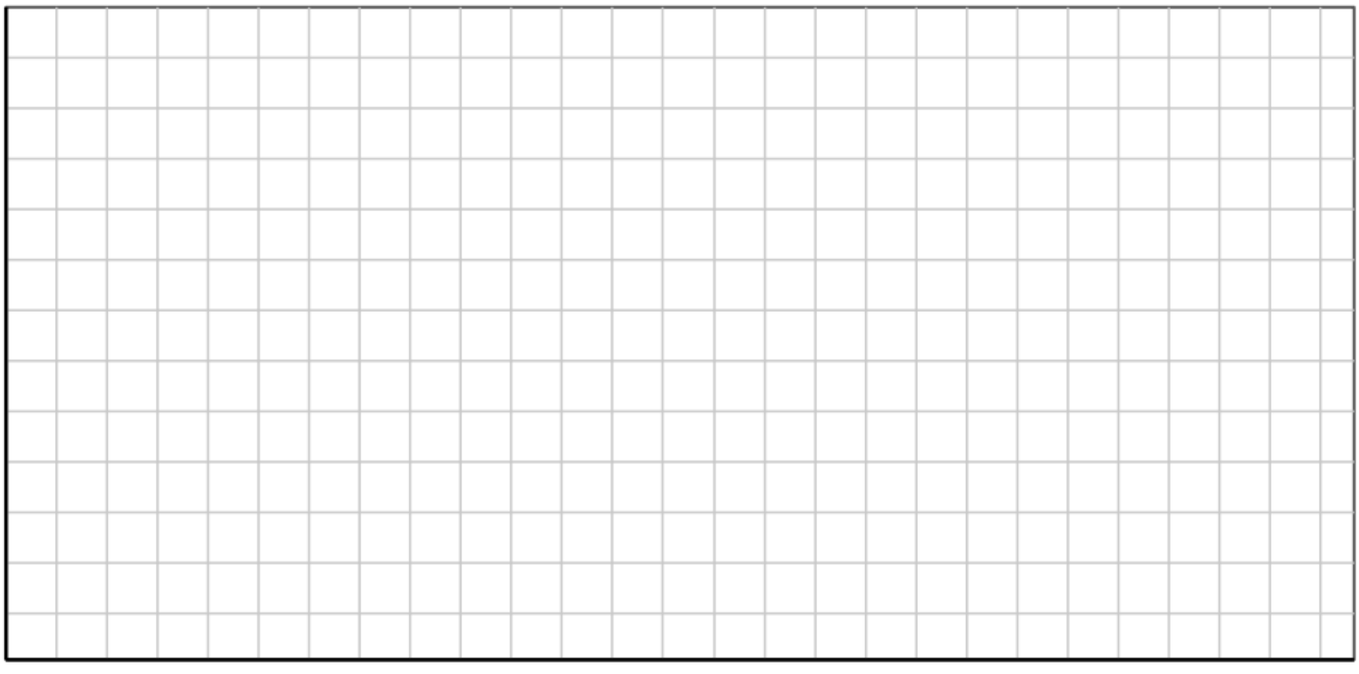


1) 거리가 2배 멀어질 때 농도는 어떻게 변하는가? 그래프의 기울기로 설명하자.

2) 안전 기준 농도가 있다면, 그래프에서 '안전 거리'를 어떻게 읽어낼 수 있는지 표시하자.

3 풍향 변수 — 동심원에서 타원으로

- 바람이 불면 위험 구역은 원이 아니라 한쪽으로 늘어납니다. 학교(또는 사업장)를 원점으로 좌표를 잡고, 풍향을 넣어 위험 구역을 작도합시다.



1) 위험 범위를 '동심원'이 아니라 '타원'으로 그려야 하는 까닭을 풍향으로 설명하자.

2) 풍하(바람이 가는) 방향의 한 지점 좌표를 정하고, 그곳이 왜 더 위험한지 적자.

4 위험 점수 만들기 — PRTR로 정량 비교

▸ 환경부 PRTR 공개 시스템(icis.mcee.go.kr/prtr)에서 우리 지역 사업장을 검색하고, '배출량·거리·유해도'를 각각 1~3점으로 정해 사업장 3곳의 점수를 매겨봅시다.

사업장	배출량(1~3)	거리 점수(1~3)	유해도(1~3)·합계

1) 점수가 가장 높은 곳은 어디이며, 그 주변에는 주로 누가 사는가?

5 한 줄 예측 — 우리 동네 위험 반경

▸ 오늘 만든 그래프·작도·점수를 근거로 '우리 동네에서 가장 주의할 지점과 그 이유'를 한 줄로 예측합시다. (2차시 모델링 PBL로 이어집니다.)

2차시: 위험 반경 예측 모델 만들기

주제	변수·함수로 만드는 위험 반경 예측 모델
무엇을 배울까요?	① 변수와 가중치로 '위험 점수 함수'를 설계하고 실제 PRTR 데이터에 적용할 수 있다. ② 직접 만든 예측 문제를 교환해 풀고, 모델의 한계를 재해·재난 정의 관점에서 점검할 수 있다.

1 변수 정의 — 우리 모델의 입력값

- 위험을 결정하는 변수를 정의합니다. 각 변수의 의미·단위·값의 범위를 정하세요.

기호	변수 이름·의미	단위 / 값의 범위
Q	누출량	
d	사업장–주거지 거리	
v	풍속(또는 풍향 보정)	
h	물질의 유해도	

2 위험 점수 함수 설계

- 위 변수들을 조합해 '위험 점수' 식을 세웁니다. 정답은 없으며, 왜 그렇게 설계했는지 근거가 핵심입니다.

① 우리 모둠의 위험 점수 식 (예: 점수 = Q×h ÷ d²)

② 거리 d를 '분모'에 둔 까닭은? (1차시 농도–거리 그래프와 연결해 설명)

③ 풍향은 식에 어떻게 반영했는가? (보정계수·방향 가중치 등)

3 실제 데이터 적용 — PRTR 3개 사업장 계산

▸ 환경부 PRTR(icis.mcee.go.kr/prtr)에서 우리 지역 사업장 3곳의 값을 찾아 우리 함수에 대입하고, 위험 점수와 예상 위험 반경을 계산합니다.

사업장	Q	d	h	위험 점수·반경

4 예측 문제 만들어 교환하기

① 우리 모둠이 출제한 문제 (조건·구하는 것 포함)

② 교환받은 다른 모둠 문제 풀이 (식·답·근거)

5 모델 검증·한계 토의 — 수로 잡히지 않는 것

▸ 모델은 강력하지만 모든 것을 담지는 못합니다. 다음을 모둠에서 토의해 적습니다.

1) 우리 모델이 '위험 없음'으로 계산한 지역인데도 실제로는 더 위험할 수 있는 사람은? (정보가 늦게 닿는 사람, 스스로 대피하기 어려운 사람 등)

2) 우리 모델에 '넣지 못한 사회적 변수' 2가지를 적고, 왜 수로 넣기 어려운지 설명하자.

3) 재해·재난 정의 관점에서, 위험 정보를 '누가·언제·어떻게' 알 수 있어야 공정할지 한 문장으로 제안하자.