

**제 1 세션 유류사고 이후
해양안전대책 및 환경복원**

**3 허베이스피리트호 환경영향
평가 및 복원**

임 운 혁 남해특성연구센터장
[한국해양과학기술원 남해연구소]

허베이스피리트호 유류유출 사고의 교훈: 해양오염영향조사에서 환경복원까지

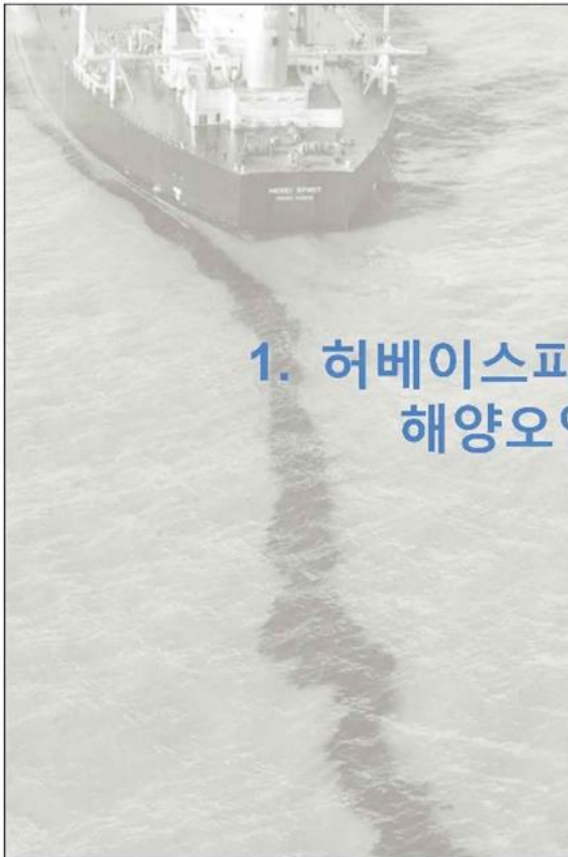
임운혁, 심원준, 김문구, 정지현, 하성용, 안준건

유류·유해물질연구실
한국해양과학기술원

발표순서

1. 해양오염영향조사

2. 사고의 교훈



1. 허베이스피리트호 유류유출 해양오염영향조사

해양수산부
유류 유해물질연구단



허베이스피리트호 유류유출사고

UAE Upper Zakum
(13.8%)

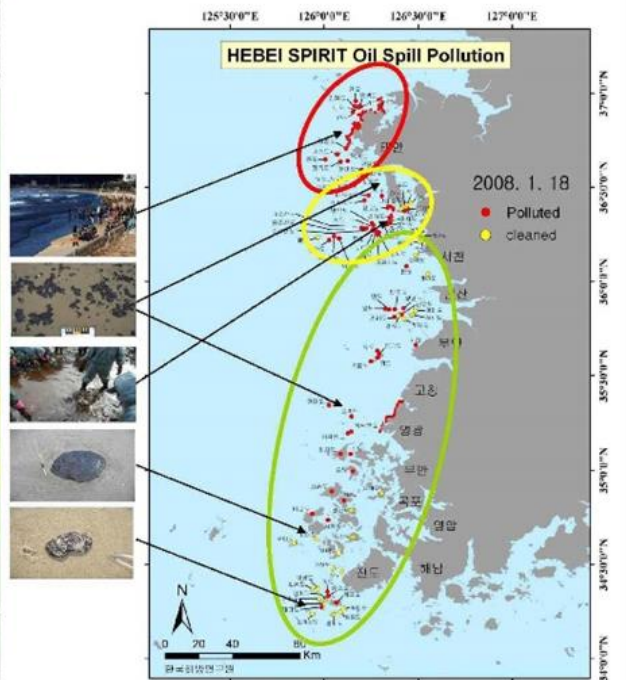
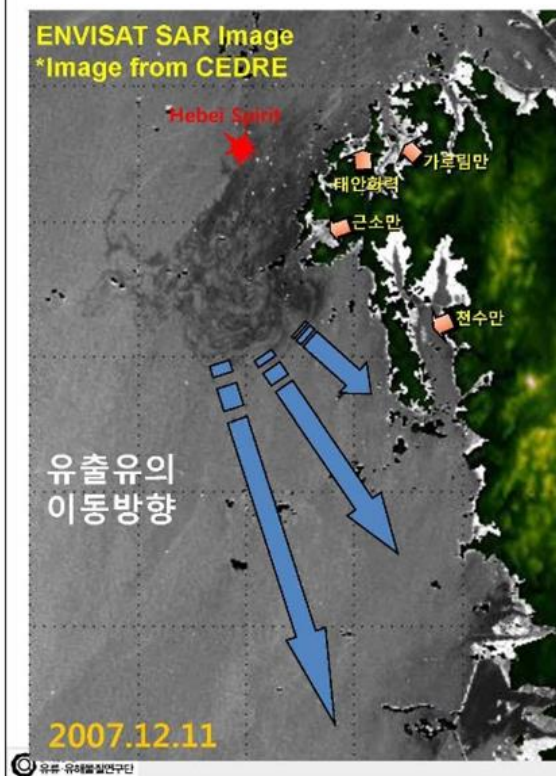
Kuwait Export Crude
(43.4%)

Iranian Heavy Crude
(42.8%)

- 2007.12.7 07:06 AM
- 만리포해수욕장 북서방 10 km
- 삼성크레인 바지와 유조선 충돌
- 중동산 원유 3종, 12,547 kL 유출
- 서해안 375 km 오염
- 자원봉사자 130만명 해안방제 참가

사진: KCG

유출유의 확산, 영향범위



해양오염영향조사

▶ 장기 해양오염영향조사(2007-현재)

유류오염평가

- 조간대(연성, 경성), 조하대
- 톱, 퇴적물, 공극수, 생물
- PAHs, alkyl-PAHs
- 중화에 따른 조성 변화

생태독성평가

- 오염 우심지역(조간대)
- 퇴적물, 공극수 노출 평가
- 단각류 치사영향
- 주요 독성원인물질(세포-개체)

생물영향평가

- 조간대 및 조하대
- 서식어류 독성 영향(생체지표)
- 조피볼락, 문치가자미, 넙치 등
- 유류성분 생물 축적(굴 등)

생태계 영향평가

- 조간대 및 조하대
- 미생물, 중형저서동물
- 대형저서동물(암반, 펄갯벌, 모래해변)

- 화학적, 독성학적, 생태학적 영향 및 회복 특성 통합 평가
- 향후 유류사고 발생시 과학지원 능력의 향상을 위한 진단/평가 기술 개발

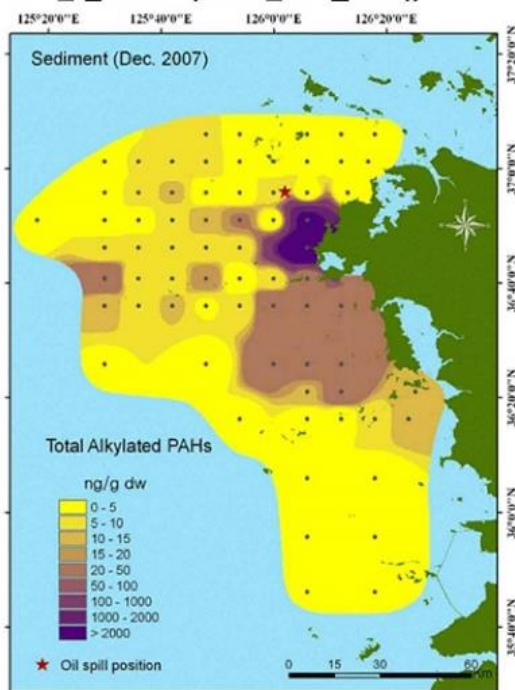
해양오염영향조사



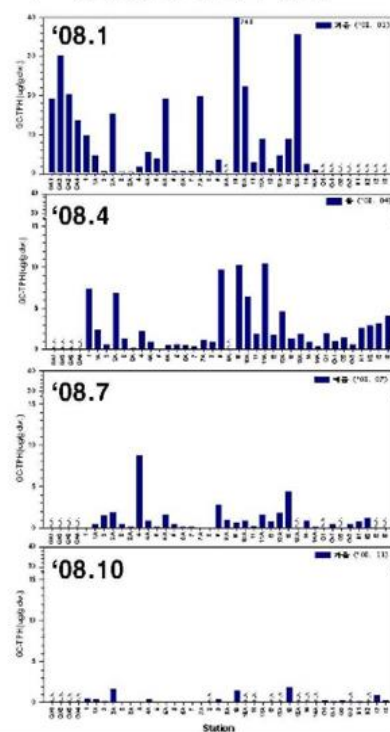
해양수산부
유류 유해물질연구단

유류오염평가_조하대 퇴적물

알킬 PAHs (2007년 12월 조사)

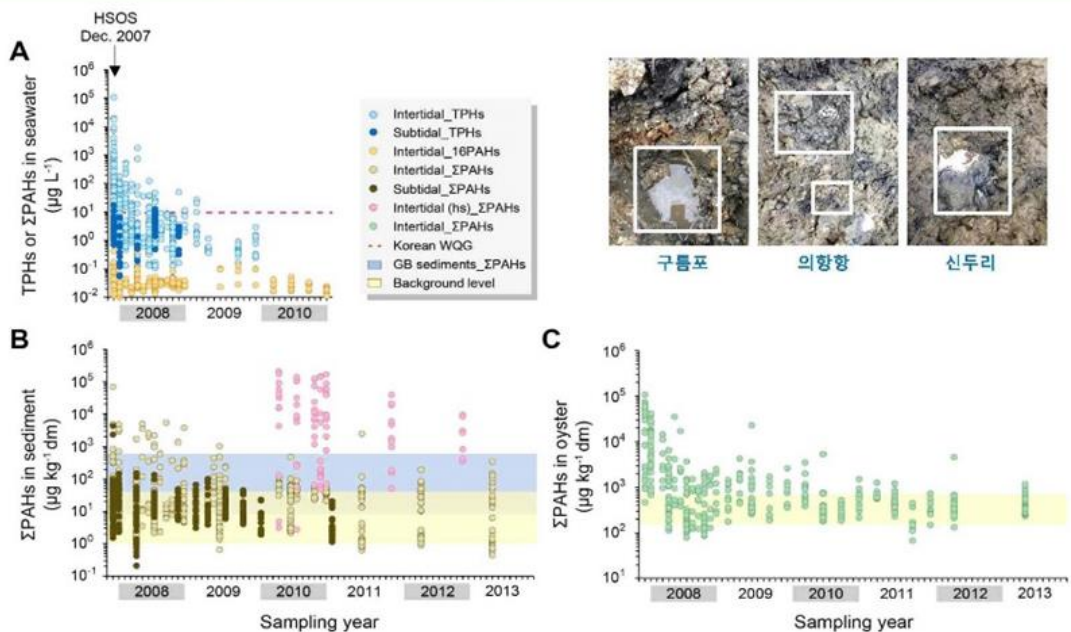


총유분의 계절적 변화



해양수산부
유류 유해물질연구단

유류오염평가_해수, 퇴적물, 이매패류

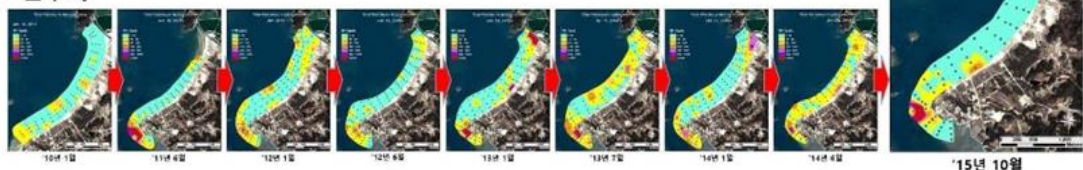


- 해수, 퇴적물, 이매패류 등 다매체내 잔존유 오염특성 장기모니터링 실시
- 매체별로 다른 회복속도를 보였으며 약 4년 경과 후 이전수준 회복
- 폐쇄성 해안, 사고초기 방제 미흡지역을 중심으로 국부적으로 잔존유 발견

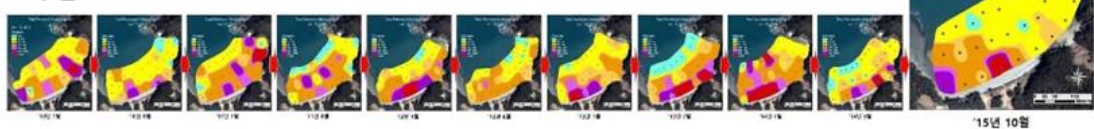
유류 유해물질연구단

유류오염평가_해수욕장

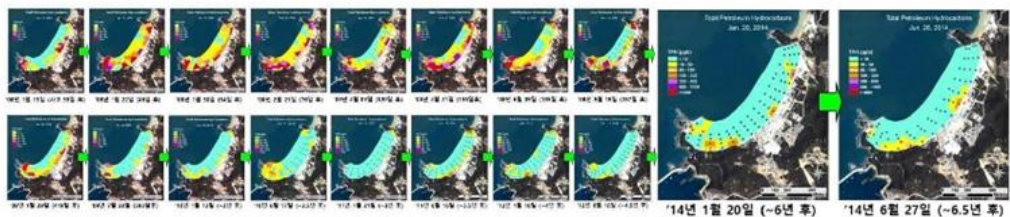
신두리



구름포

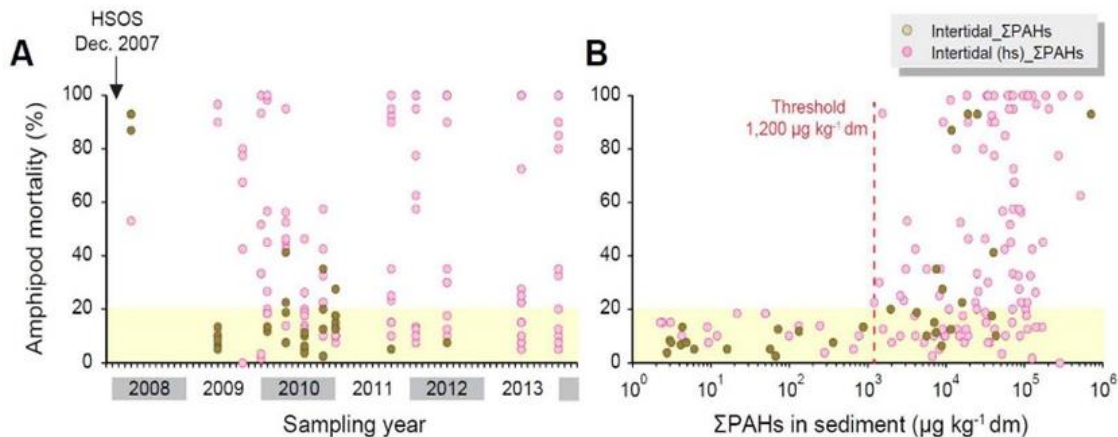


만리포



유류 유해물질연구단

생태독성평가_잔존유 독성평가

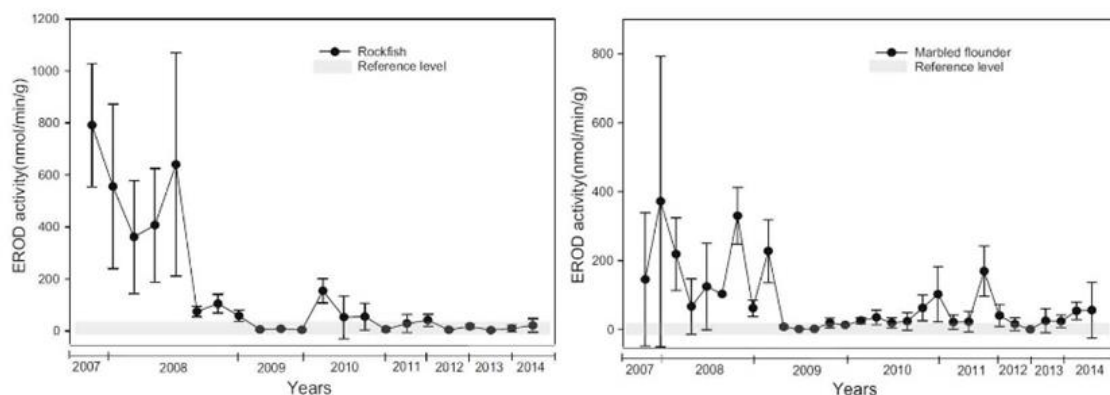


- 연성 조건대 퇴적물 및 공극수에 단각류 노출, 치사영향 관찰
- 우심지역(소근진만 갯벌)에서 오랫동안 잔존유 존재, 높은 치사율 보임
- 퇴적물 중 잔존 유류성분(PAHs) 농도에 의존적인 경향 보임

Yim et al., 2017. In preparation.

생물영향평가_어류 생체지표

▶ Biomarker: EROD activity

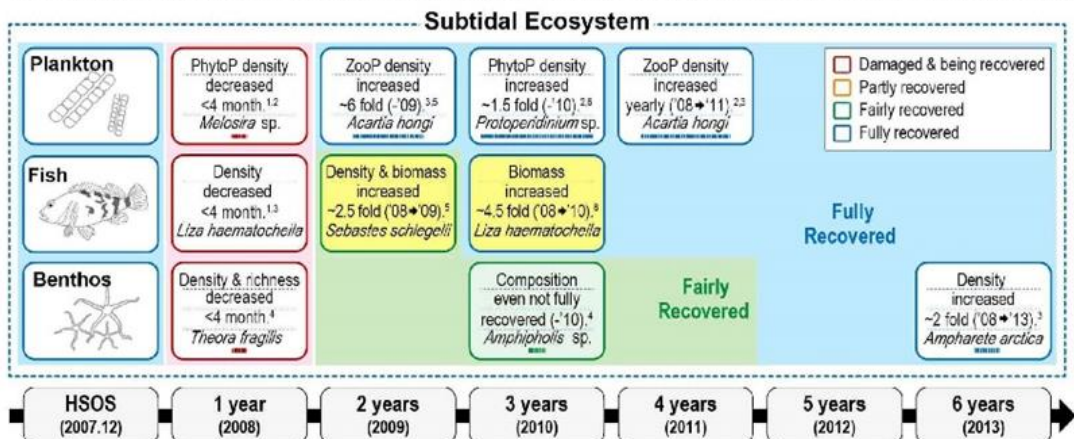


- 현장 서식어류인 조피볼락과 문치가자미의 해독효소(EROD) 분석결과 사고 후 약 2년 후 대조구 해역(보령) 수준으로 나타남

Yim et al., 2017(AECT)

생태계영향평가_조하대 자연회복평가

Long-term ecosystem responses and recovery status after the HSOS (Dec. 2007)

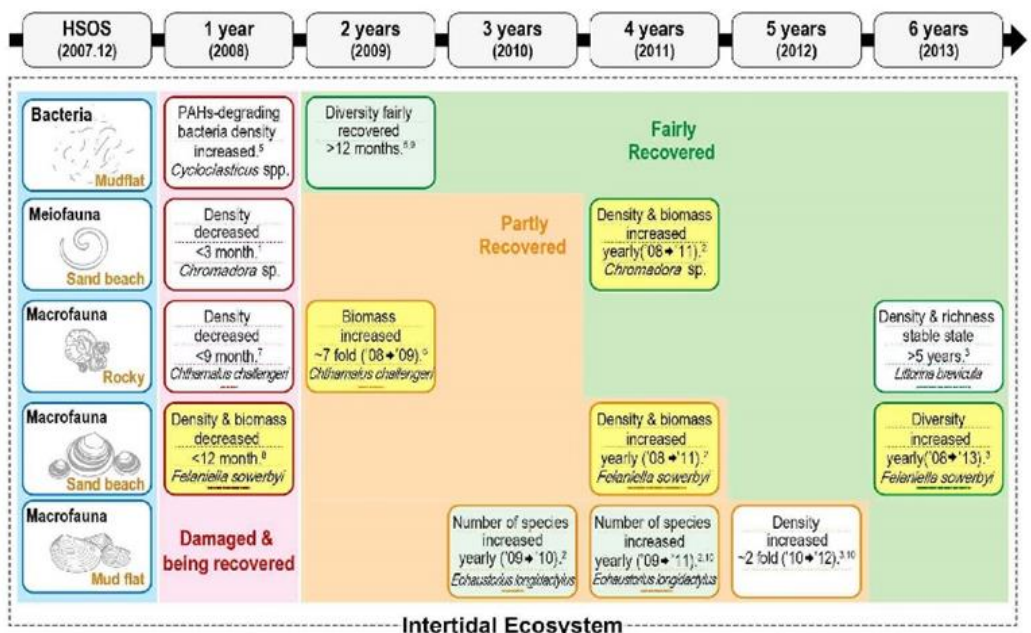


References

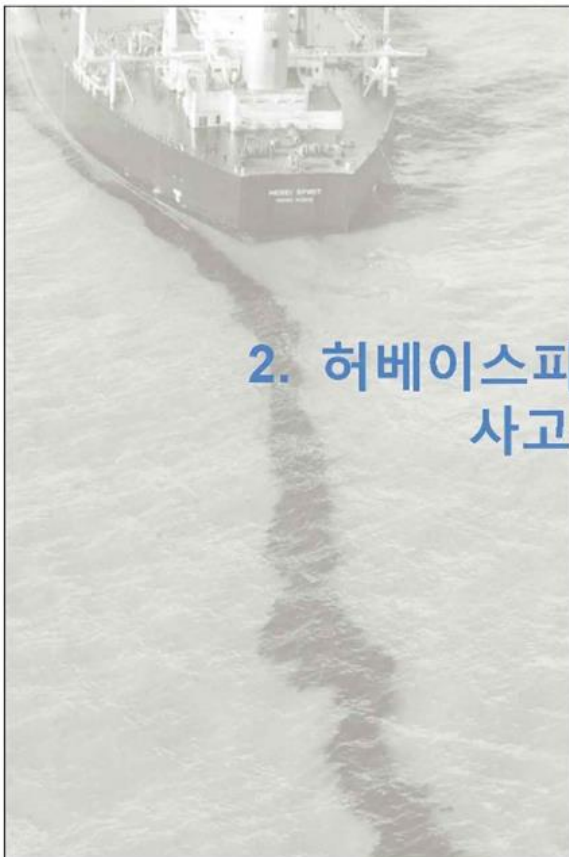
¹MLTM, 2008; ²MLTM, 2011; ³MLTM, 2013; ⁴Seo et al., 2014; ⁵MLTM, 2009; ⁶MLTM, 2010; ⁷Jung et al., 2015; ⁸Yu et al., 2013; ⁹Lee et al., 2016; ¹⁰MLTM, 2012.

- 조하대 부유생물의 경우 1년 후 이전수준으로 회복
- 저서생물의 회복은 상대적으로 느리나 4년 경과 후 이전수준으로 회복

생태계영향평가_조간대 자연회복평가

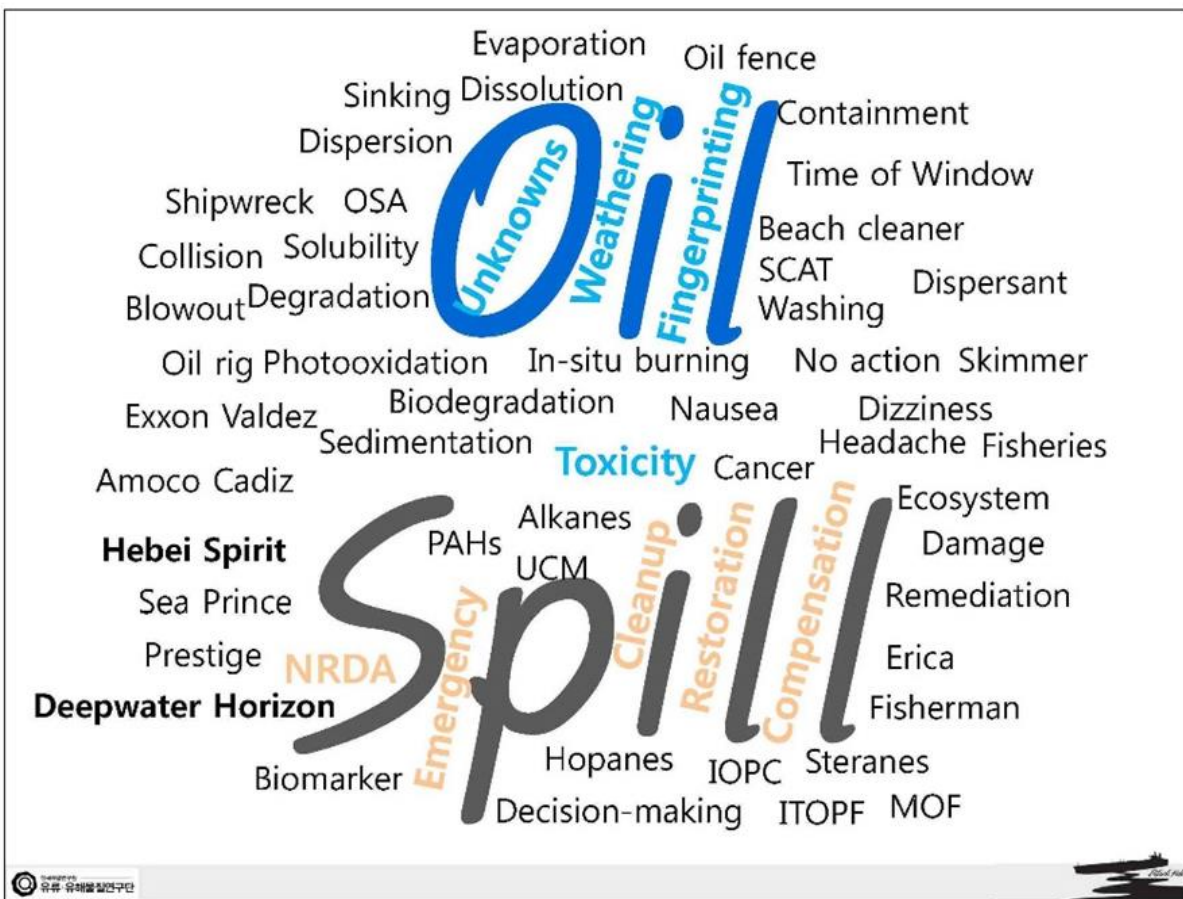


- 유출유의 영향이 해안에 집중되어 다양한 조간대 저서생물 피해
- 서식지별로 회복속도가 다르나, 4년 경과 후부터 회복 징후



2. 허베이스피리트호 유류유출 사고의 교훈

유류 유출물 실험연구단



유류 유출물 실험연구단



Lesson 1. Oil spill research in a regulatory framework



Dr. John Farrington
University of Massachusetts, Dartmouth
Woods Hole Oceanographic Institution

Farrington described the need and urgency for responsible science in a **crisis mode**: he imparted the need to bring the best science, engineering and research to serve present needs and expand the knowledge base for the future.

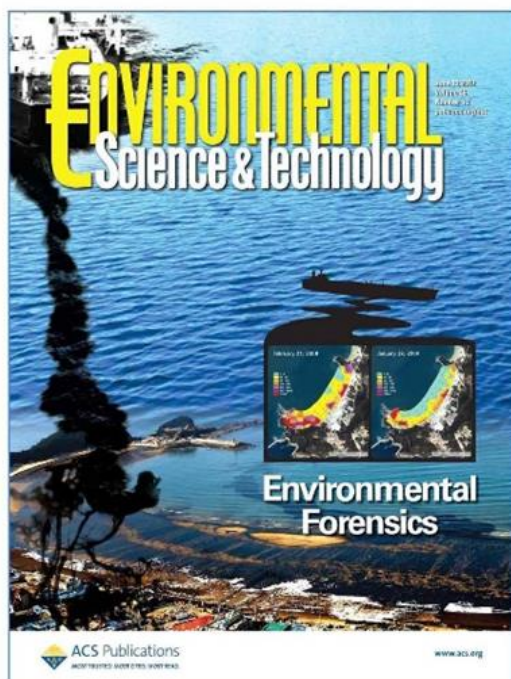
He cautioned the community to be mindful that research surrounding the spill is being conducted within an environment that is subject to **regulatory and legal actions** and encouraged scientists to pay special attention to **scientific record keeping** (i.e. sampling, shipboard notebooks, electronic data, correspondence) as all records can be subpoenaed.

He explained that this type of research activity is part of a **scientist's public service** and academicians should not avoid this research because of the legal environment.

Consortium for Ocean Leadership SCIENTIFIC SYMPOSIUM MEETING
LOUISIANA STATE UNIVERSITY, JUNE 23, 2010



Oil Spill Environmental Forensics



ENVIRONMENTAL
Science & Technology

Feature
pubs.acs.org/est

Oil Spill Environmental Forensics: the Hebei Spirit Oil Spill Case

Un Hyuk Yim,[†] Moonkoo Kim,[‡] Sung Yong Ha,[‡] Sungwan Kim,[‡] and Won Joon Shin^{†,¶}

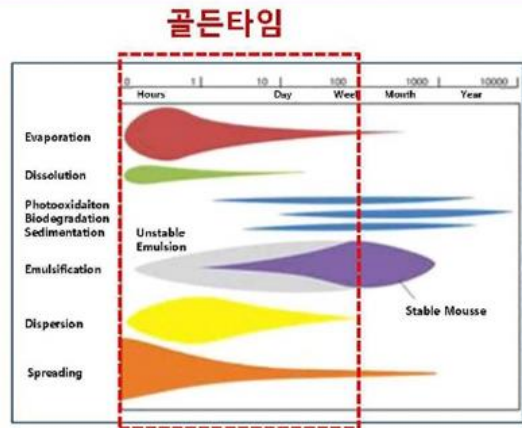
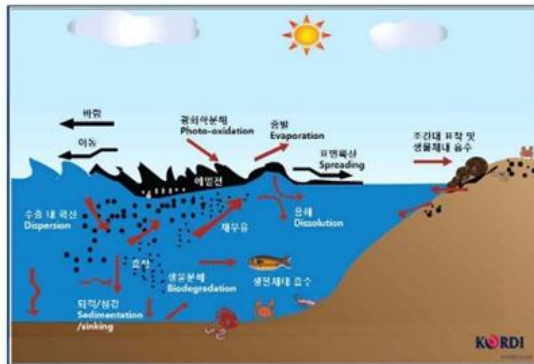
[†]Oil and POPs Research Group, South Sea Branch, KORDI, Geoje, Republic of Korea

[‡]Department of Chemistry, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

- ✓ Rapid screening of shoreline contamination
- ✓ Long-term monitoring of residual oils in multimedia
- ✓ Varying degree mixture of three source oils
- ✓ Background contamination
- ✓ Weathering and its effects on oil fingerprints
- ✓ Emerging oil fingerprinting techniques
- ✓ Submerged oil



Lesson 2. Ephemeral data: Go to the scene ASAP



Calvez and Kerambrun (2007)

What is required to assess accurately the environmental impact of oil spill?

"No loss of time, no loss of information"

- *set-up the framework defining initial measures and research that can be implemented as realistically as possible in terms of human, technical and financial resources*

- ✓ 공간적 : 사고유 확인 지역
- ✓ 대상매체 : 해수, 대기, 퇴적물, 생물
- ✓ 시간적 : 사고 초기 골든타임 내
- ✓ 빈도수 : 실시간, 일단위, 주단위



사고해역에 신속히 출동해서 사고유
가 확인된 지역의 환경매체에 대해
최대한 많은 자료를 산출

Volatile Organic Compounds

한국환경분석학회지 제11권 (제1호) 29-45, 2008
J. of the Korean Society for Environmental Analysis

2007년 태안 원유유출사고 주변지역의 지정악취성분들에 대한 예비조사

김기현¹ · 이기현 · 안지원 · 박신영 · 임운혁¹
¹서울대학교 지구환경과학부, ²한국해양연구원 남해연구소



Group	Pollutants	Mean	Median	SD	Min	Max	N (> BDL)
A.	B	0.43	0.14	0.80	0.14	2.41	2
VOC	T	1.23	1.16	0.78	0.11	2.92	7
& TVOC	EB	0.33	0.11	0.63	0.11	1.90	1
	MPX	0.50	0.13	1.05	0.04	3.07	4
	OX	4.61	1.39	8.39	0.08	24.89	6
	STY	0.42	0.12	0.84	0.12	2.49	1
	BB	0.43	0.24	0.56	0.24	1.82	1
	1,3,5-TMB	0.65	0.15	1.29	0.15	3.83	3
	1,2,4-TMB	2.35	1.50	3.16	0.20	9.54	8
	p-PT	0.72	0.16	1.60	0.16	4.68	1
	m-BB	0.38	0.23	0.29	0.23	0.99	2

[5] The 2nd campaign (1 month after the accident: 9 Jan. 2008)							
Group	Pollutants	Mean	Median	SD	Min	Max	N(UDL)
A, VOC & TVOC	B	0.38	0.44	0.14	0.14	0.53	7
	T	4.17	3.20	3.14	2.20	11.70	1
	EB	0.27	0.27	0.05	0.20	0.36	7
	MPX	0.23	0.24	0.05	0.17	0.31	4
	OX	0.08	0.08	0.00	0.08	0.08	8
	STY	0.15	0.12	0.09	0.12	0.38	8
	BB	0.24	0.24	0.00	0.24	0.24	8
	1,3,5-TMB	0.15	0.15	0.00	0.15	0.15	8
	1,2,4-TMB	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	8
	p-PT	0.16	0.16	0.00	0.16	0.16	8
p-BB	0.23	0.23	0.00	0.23	0.23	8	

J. Of the Korean Society for Environmental Analysis (2008)

KIOST 이동실험실



해양수산부
유류 유해물질연구단

Lesson 3. Cover multimedia oiling at regionwide scale

육상환경



해양환경



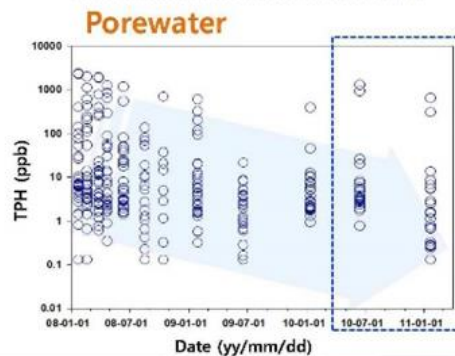
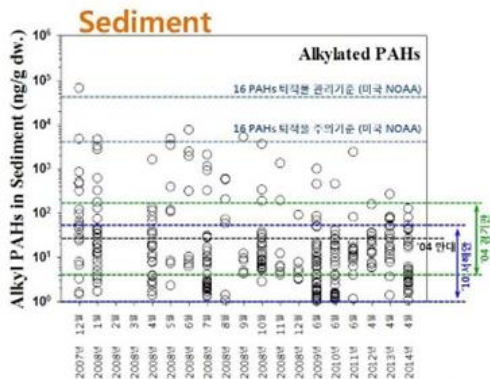
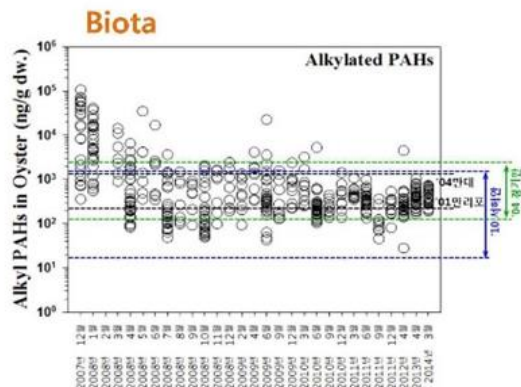
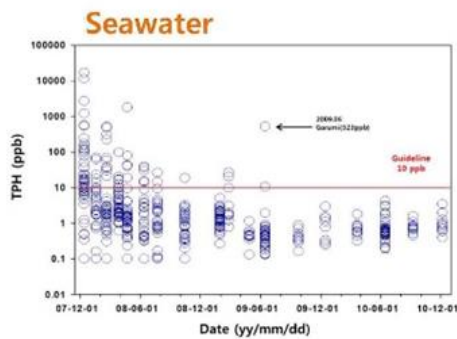
1. 환경특성: 정적 **VS** 동적
2. 서식주체: 사람 **VS** 해양생태계
3. 이용특성: 사적 **VS** 공적
4. 오염특성: 국부적 **VS** 광범위
5. 시간규모: 단기적 **VS** 장기적
6. 환경기준: 사람 보호 **VS** 생태계 보호



해양의 특성을 고려한 오염 진단 및
평가, 그리고 오염된 해양 생태계의
구조와 기능 회복에 초점을 둔 복원
추진

해양수산부
유류 유해물질연구단

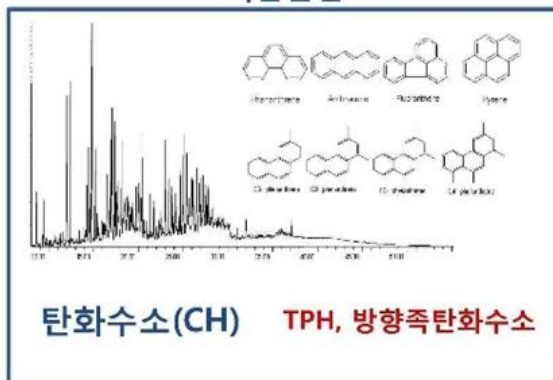
다매체 해양오염 모니터링



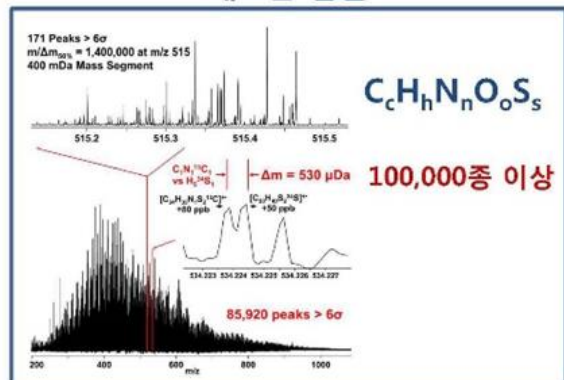
유류 유해물질연구단

Lesson 4. Oil is complex mixture of $C_cH_hN_nO_oS_s$

기존관점



새로운 발견



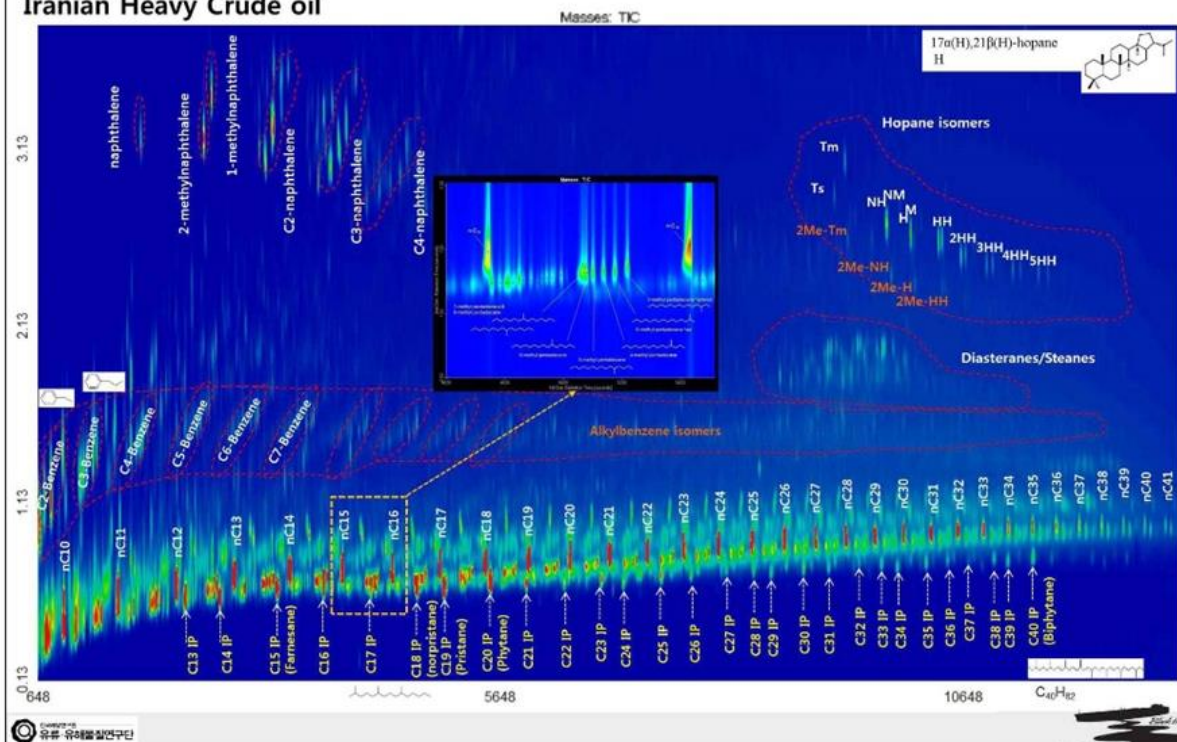
1. 분석항목: 28 PAHs vs Whole PAHs group + Unknowns
2. 분석매체: 해수, 퇴적물, 생물 vs 대기포함 다매체환경
3. 분석특성: 대표정점 정밀분석 vs 현장 스크리닝+실험실 정밀분석
4. 분석주기: 주기적 vs 실시간+주기적 모니터링

➡ 기존 접근법은 생태계 영향을 과소평가, 최근의 연구성과 반영 필요

유류 유해물질연구단

GCxGC analysis of crude oil

Iranian Heavy Crude oil



Environmental Petroleomics

Rodgers et al. (2005) Anal. Chem. 21A

PETROLEOMICS: MS Returns to Its Roots

Ryan P. Rodgers
Tanner M. Schaub
Alan G. Marshall
Florida State University

"Petroleomics"

- ✓ is the characterization of petroleum **at the molecular level**.
- ✓ From comprehensive organic molecular composition, it should be possible **to predict the properties and behavior of petroleum and its products**



"Environmental Petroleomics"



- ✓ is the characterization of **spilled oil at the molecular level**.
- ✓ From comprehensive organic molecular composition, it should be possible **to predict the properties and behavior of spilled oil in the environment**

Lesson 5. Environmental Restoration

✓ Time Scale



✓ Target Components

Oil Only



“Ecosystem”

- ✓ 질적·양적인 측면에서 기능이 저하 혹은 원형이 훼손된 생태계나 인위적인 교란이 지속되고 있는 생태계의 회복을 도와주는 과정



US OPA vs IOPC Fund

US Oil Pollution Act of 1990

Primary restoration

- Any action, including natural recovery, that returns injured resources and services to baseline.

Compensatory restoration

- Any action taken to compensate for interim losses of natural resources and services that occur from the date of the incident until recovery.

1. Natural Recovery – Monitoring
2. Direct Restoration
3. Rehabilitation
4. Replacement
5. Acquisition of Equivalent Resources
6. Combination of the Above

IOPC Fund 92'

Post-spill Studies

- To establish the nature and extent of environmental damage caused by an oil spill,
- To determine whether or not reinstatement measures are necessary and feasible.

Reasonable Reinstatement Measures

- Aimed at accelerating natural recovery of environmental damage.



잔존유 정화작업



1. 정점선정/사전정지작업



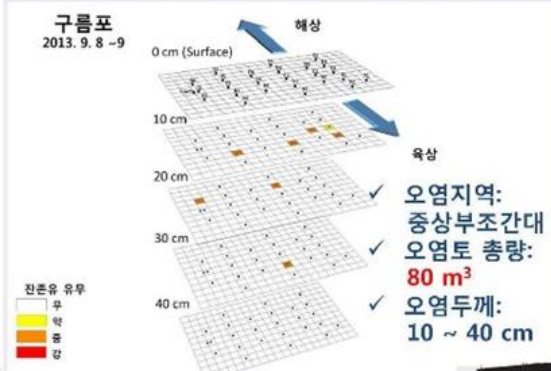
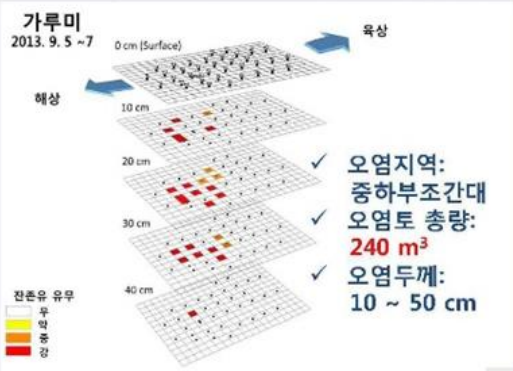
2. 시추작업



오염지역 및 규모:
(지역범위, 잔존유의 형태, 총량)

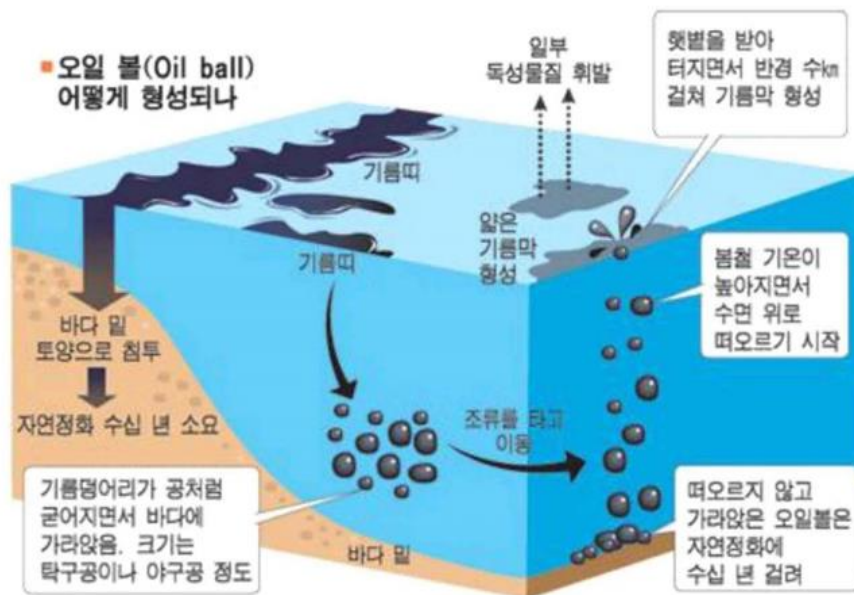
잔존유의 재부유 여부
(Remobilization & Bioavailability)

의사결정(방제여부)

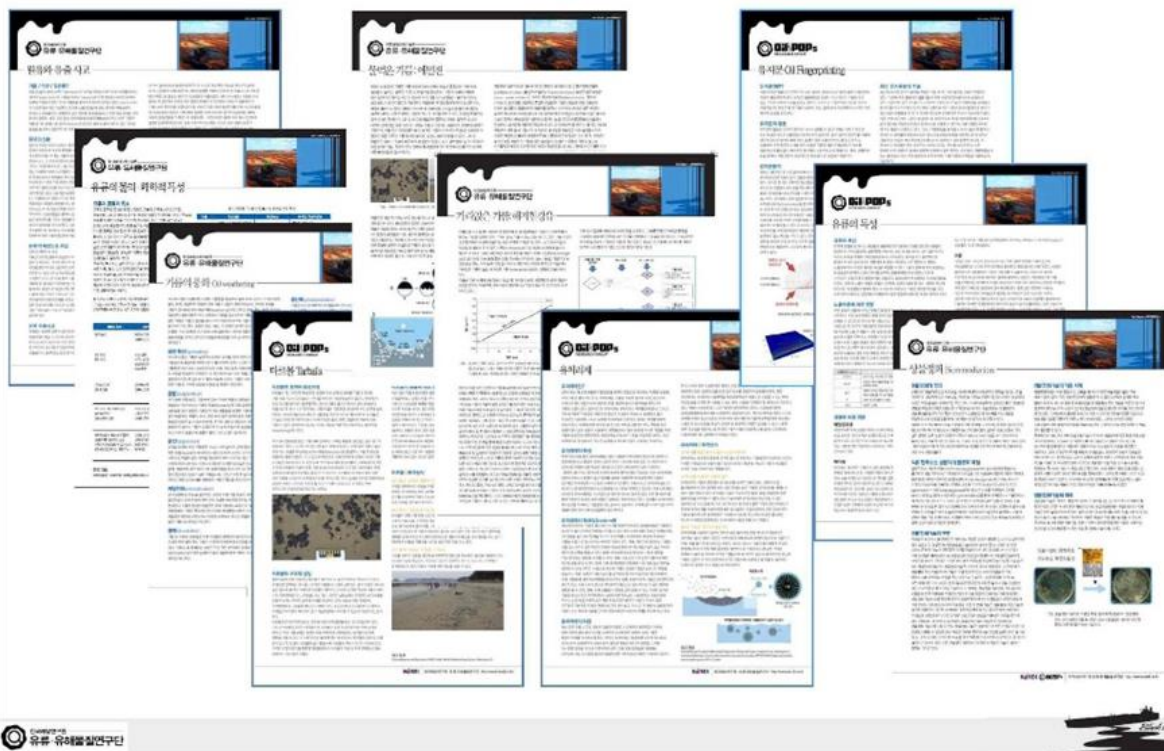


Lesson 6. Dealing with Mass Media

✓ 사고초기 잘못된 재난보도로 인해 효율적인 사고대응 차질



Fact Sheets



요약 및 결론_해양오염영향조사

1. 2007.12.7 허베이스피리트호 유류유출사고 직후부터 약 10년간 장기 해양오염영향조사 실시
2. 태안 및 서해안 피해지역을 중심으로 유류오염영향평가, 생태독성 평가, 생태계영향평가 실시
3. 오염정도, 초기방제, 환경특성 등에 따라 오염의 지속도에 차이가 있었으며, 전반적으로 사고 4년 경과 후 이전 수준으로 회복 양상
4. 생태계 구성요소별로 회복속도가 상이했으며, 피해가 집중된 조건 대 저서생태계의 경우 사고 4년 경과 후부터 회복 징후
5. 허베이스피리트호 유류유출사고를 교훈 삼아 미래사고 대응을 위한 연구개발을 지속

1. 해양오염영향조사는 국제협약 및 국내법에 따른 법적조사
2. 사고에 신속하게 대응하여 초기오염자료 확보
3. 해양의 특성에 맞는 다매체 환경영향조사 실시
4. 유출유의 풍화특성, 화학조성 등을 고려한 조사실시
5. 환경복원계획은 장기적인 자연회복을 고려
6. 과학적 자료에 근거한 언론대응
7. 유처리제 사용 및 사후모니터링 철저
8. 사고 이전 배경자료 확보 및 환경기준치 설정
9. 유류 내 미지독성물질에 의한 생물영향평가기법 개발
10. 생태계영향평가는 구조적, 기능적 관점 고려

