

대산석유화학단지 주변지역 환경영향조사 실시설계용역 방안 연구

명형남 충남연구원 환경생태연구부 책임연구원, myunghn@cni.re.kr
오해정 충남연구원 환경생태연구부 연구부장, ohj77@cni.re.kr
여형범 충남연구원 환경생태연구부 책임연구원, hbyeo@cni.re.kr
정우식 충남연구원 환경생태연구부 연구위원, oksik@cni.re.kr

본 연구의 목적은 대산석유화학단지 조성 이후 여건변화에 따른 주변지역 환경 및 주민건강 영향, 제도 등을 검토하여 환경영향조사 실시설계용역 방안을 제시하는 것임

요 약

- [대기환경]대산석유화학단지의 대기질은 환경기준을 만족하고 있으나 최근에 이산화질소와 오존, 미세먼지의 농도는 증가하는 경향을 보임. 벤젠은 환경기준농도 이하이지만 석유화학단지 특성상 다른 지역의 주거지점보다 농도가 높은 경향을 보임
- [수질환경]지하수수질 및 해양수질은 환경기준을 만족하고 있으나 지하수의 경우, 유류누출로 인해 공공수역으로 진행될 수 있음. 해양생물의 경우 패류나 어류 등에 대한 조사가 필요함
- [토양환경]석유탄화수소 중 방향족탄화수소(벤젠, 톨루엔, 크실렌 등)는 축매에 의해 치환반응이 발생하면서 동물과 식물에 아주 유독하기 때문에 토양환경에 심각한 영향을 줄 수 있음
- [자연환경,취락경관]대산석유화학단지가 개발되면서 산림생태계에 변화가 있었으며 해안선이 단순화되었고 북부는 2차, 남부는 3차, 서부·동부는 1차 산업과 관련된 경관의 특성으로 변화됨
- [인체건강]휘발성유기화합물과 질소산화물이 전구물질로 작용해서 생성된 오존 등에 의해 호흡기계 질환과 폐질환, 심혈관계 질환, 피부질환 등의 유병률과 증상 악화에 영향을 미칠 수 있음
- [관련법·제도]최근 들어 석유화학 산업단지 주변지역 지원을 위한 제도 도입에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 20대 국회에서는 관련 법안을 성일종의원과 주승용의원이 각각 발의함
- [설계용역방안]환경영향조사의 대상지역은 대산석유화학단지를 중심으로 1안)5km, 2안)10km반경의 대산읍으로 제안. 연구범위는 대기및악취 분야, 해양수질 및 해양생태계 분야, 토양 분야, 자연환경 분야, 폐기물 분야, 인체건강영향 분야임. 연구기간에 산 등을 고려하여 우선 1차년도에는 주민들의 민원과 실험적 자료 및 역학적 자료 축적이 비교적 많은 대기오염분야와 이에 대한 인체건강피해조사를 진행

CONTENTS

< 요 약 >

- I. 연구 개요
- II. 대산석유화학단지 현황 및 특성
- III. 대산석유화학단지 주변지역 주요 영향 검토
- IV. 결론 및 설계용역 방안 제시

연구개요 ◀

01

1. 연구 배경

- 1988년부터 석유화학산업에 대한 투자와 중국과 가까운 지리적 장점에 의해 대산지역에 석유화학단지가 조성되기 시작하여 여수, 울산과 같이 한국의 3대 석유화학단지로 성장하였음
- 그동안 대산석유화학단지는 입주업체, 생산량 및 규모 등이 증가하면서 환경오염에 의한 환경생태 등이 변화되었으며, 악취·소음 등의 생활환경불편, 건강피해 우려 등에 대한 민원이 빈번하게 발생하고 있는 상황임
- 충남도와 서산시는 이러한 환경오염문제를 협의하고 해결방안을 모색하기 위해 2012년도부터 주민대표, 기업대표, 환경NGO, 전문가, 공무원 등 22명으로 구성된 '대산지역 환경협의회'를 구성·운영하고 있으며, 그동안의 여건변화에 따른 주변지역의 환경영향조사의 필요성에 대한 주민들의 공감대가 형성되고 있는 상황임
- 현재 대산석유화학단지 회사별로 사후환경영향조사는 진행되고 있으나 대산석유화학단지의 주변을 종합적으로 평가한 환경영향조사는 1994년에 실시한 이래 전무한 상태임. 이에 충청남도에서 충남연구원에 공단 조성 이후 여건변화에 따른 주변지역 환경영향조사 실시설계용역 방안 등을 의뢰하여 현안과제로 연구를 추진하는 것임

2. 연구 목적

- 본 연구의 목적은 대산석유화학단지 조성 이후 여건변화에 따른 주변지역 환경 및 주민건강 영향, 제도 등을 검토하여 환경영향조사 실시설계용역 방안을 제시하는 것임
 - 대산석유화학단지 주변현황 등 여건변화 파악
 - 대산석유화학단지 주변지역 주요 영향 문헌 검토(대기, 수질, 토양, 자연, 인체건강 등)
 - 관련 법·제도 검토
 - 결론 및 설계용역 방안 제시

1. 석유화학산업 개요

1) 정의와 범위

- 석유화학산업이란 석유제품(Naphtha) 또는 천연가스를 원료로 합성수지(플라스틱), 합성섬유(Polyester, Nylon) 원료, 합성고무 및 각종 기초화학제품을 생산하는 산업을 말함



[그림 1] 석유화학산업의 정의

자료 : 한국석유화학협회(www.kpia.or.kr)

- 석유화학산업의 범위는 화학물질 및 화학제품제조 분야로서 석유화학계 기초 화학물질 제조업, 합성고무 제조업, 합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업, 비료 및 질소화합물제조업, 살충제 및 기타농약 제조업, 잉크·페인트·코팅제 및 유사제품 제조업, 화학섬유 제조업 등이 있음

산업세분류		분류번호	HS품목비교
화학물질 화학제품제조	석유화학계 기초 화학물질 제조업	20111	2901-04 유기화학품
	기타 기초 유기화학물질 제조업	20119	2905-35/2942 유기화학품 2706-08 타르/피치/코크스
	합성고무 제조업	20301	4001-02 고무
	합성수지 및 기타 플라스틱물질 제조업	0302	3901-11 플라스틱
	비료 및 질소화합물제조업	202	31 비료
	살충제 및 기타농약 제조업	2041	3808 살충제/계초제 등
	잉크, 페인트, 코팅제 및 유사제품 제조업	2042	3208-14 페인트/바니쉬/잉크
	세제, 화장품 및 광택제 제조업	2043	33 향료/화장품 34 비누/계면활성제/왁스
	화학섬유 제조업	205	54 인조필라멘트 55 인조스테이플섬유
	기타		

[그림 2] 석유화학산업의 범위

자료 : 한국석유화학협회(www.kpia.or.kr)

2) 제조과정

- 석유화학산업은 석유제품(Naphtha) 또는 천연가스를 원료로 하여 국내의 경우 주로 납사를 분해설비(Naphtha Cracking Center ; NCC)에 투입하여 에틸렌, 프로필렌 등 기초유분을 생산함
- 분해설비(Naphtha Cracking Center ; NCC)에서 생산되는 제품들의 구성은 에틸렌이 31%, 프로필렌 16% 등이 주로 생산되며 나머지 부타디엔 원료, 벤젠·톨루엔·크실렌 원료 등이 있음. 이러한 기초유분을 가지로 석유화학 최종제품을 만듦



[그림 3] 석유화학산업의 제조과정

자료 : 한국석유화학협회(www.kpia.or.kr)

3) 국내 석유화학단지 현황

- 국내 석유화학단지에서 위험물을 다루는 업체 현황은 <표 1>과 같음

[표 1] 국내 석유화학단지 현황(위험물 취급업체)

구분	계	울산				대전 석유화학 단지	여수국가산업단지	
		석유화학 단지	여천공단	온산공단	서산시 대산읍 대죽리, 독곶리 일대			
부지면적(㎡)	83	44	9	25	10	8	31	
업체수	745	470	28	117	325	19	256	
저장 위험물	액체(kℓ)	47,650,487	23,193,101	9,333,843	2,010,126	11,849,132	10,785,955	13,671,431
	고체 (ton)	124,909,337	104,649	56,115	12,649	35,885	39,771	124,764,917
위험물 제조 등 (개소)	제조소	454	242	82	90	70	64	148
	일반취급소	804	454	136	206	112	67	148
	이송취급소	249	49	19	19	11	17	183
	기타취급소	53	28	6	7	15	1	24
	육내저장소	416	228	49	91	88	32	156
	육외저장소	365	230	47	108	75	34	101
	육내탱크 저장소	150	54	5	26	23	36	60
	육외탱크 저장소	6,805	3,877	1,187	1,528	1,162	775	2,153
	지하탱크 저장소	65	36	8	9	19	15	14
	암반행브 저장소	2	2	-	-	2	-	-
	기타저장소	537	230	5	42	183	3	304
총업원	50,717	28,326	4,432	7,215	16,679	4,485	17,906	

자료 : 소방방재청, 2013년도 위험물 통계자료(원본), 이만정(충남연구원), 2015(재인용)

2. 대산석유화학단지 현황 및 특성

1) 대상지 현황

- 대산석유화학단지는 1988년부터 충남 서산시 독곶리, 대죽리 일원에 민간산업 단지로 조성되기 시작하여 <그림 4>와 같이 한화종합화학, 한화토탈, 롯데케미칼, 씨텍, LG화학, 현대코스모, 현대오일뱅크, KCC 등을 중심으로 현재 약 70여개 기업의 규모로 성장하였음



[그림 4] 대산석유화학단지 주요업체 현황

- 대산석유화학단지에서 배출되는 오염물질에 의한 환경과 건강영향은 오염원과의 거리 등과 관련이 있기 때문에 5km 반경, 10km 반경으로 구분하여 주거지와 작업장을 중심으로 분포를 파악함(그림 5)
 - 대산석유화학단지를 중심으로 볼 때 주거지와 작업장은 주로 남쪽 방향에 위치하고 있으며 거리가 멀어질수록 작업장과 주거지 근각이 더 많이 분포하고 있음

- 특히 대기(악취)오염물질에 의한 영향권역을 파악하기 위해서는 바람의 방향, 지형 등을 고려하는 대기모델링을 통해 주거지와 작업장의 영향범위를 고려해야함



[그림 5] 대산석유화학단지 주변(5km, 10km 반경) 주거지 및 작업장¹⁾ 분포

2) 유해화학물질 취급 현황

- 대산 4사(현대오일뱅크, LG화학, 롯데케미칼, 한화토탈)에서 주로 취급되는 유해화학물질은 중화제로 사용되는 황산, 가성소다 및 석유화학제품의 원료로 사용되는 BTX류 등이며, 현대오일뱅크에서는 11종, LG화학 24종, 롯데케미칼 18종, 한화토탈은 9종의 유해화학물질이 취급되고 있음

1) 주거지와 작업장 군락은 빨간색으로 표시

[표 2] 대산 4사 유해화학물질 취급현황

업체	유해화학물질
현대오일뱅크	황산, 가성소다, 암모니아수, 염산, 테트라 클로로에틸렌, Merox Plus, AvTEL, 메탄올, 톨루엔, 벤젠, 자일렌
LG화학	메틸알콜, 수산화나트륨, 1,2-이염화에탄, 톨루엔, 푸르푸랄, 황산, 과산화수소, 벤젠, 수산화칼륨, 아크릴로니트릴, 디메틸 디옥사카밤산나트륨, 플루오르화수소, 아질산염류, 피닐디아민, 염산, 무수크로산, 디메틸벤젠아민테트라키스, 디니트로페놀, 하이드로퀴논, 페놀, 염화아연, 산화니켈, 디메틸포름아미드, 부타디엔
롯데케미칼	벤젠, 황산, 메탄올, MEK, 톨루엔, 수산화나트륨, 수산화칼륨, 프루푸랄, 오메가축매, 무기아연염류, 아질산염류, 염화에틸, 히드라진수화물, 염화에탄, 자일렌, 산화니켈, 부타디엔, 디메틸로름아미드
한화토탈	수산화나트륨, 메틸알콜, 자일렌, 톨루엔, 푸르푸랄, 벤젠, 하이드라진수화물, 황산, 아질산나트륨

자료 : 대산석유화학단지 내부자료

3) 화학물질 관련사고 현황

- 대산석유화학단지에서 발생했던 피해를 보면 주로 화학물질의 누출, 화재, 폭발이 주를 이루고 있으며, 원유의 수송·운송 과정에서도 환경오염이 발생함

[표 3] 대산석유화학단지 주변지역 주요 피해사례

일시	사고경위	주민피해
'92.2.14	서산 극동정유 분해탑 폭발	반경 1km이내 5백여주민 대피
'93.10.1	프런티어 익스프레스호 나프타 유출	주빈 157명 구토 및 두통증세 치료
'03.10.16	현대오일뱅크 코크스라인 폭발	정제설비 소실
'07.12.7	허베이 스피리트호 기름 유출	피해청구 127,471건(4조 2,273억원)
'09.12.21	현대오일뱅크 부두 기름 유출	병거C유 5,900ℓ 유출
'12.1.3	47t급 폐유 운반선 폭발	1명실종, 1명경상
'14.12.28	탱크로리 전복으로 아스팔트유 유출	아스팔트유 200ℓ 유출
'15.1.15	실리콘원료 탑재 탱크로리 전복	장시간 교통체증 유발

자료 : 정중필, 2015(원본), 이민정(충남연구원), 2015(재인용)

대산석유화학단지 주변지역 주요 영향 검토

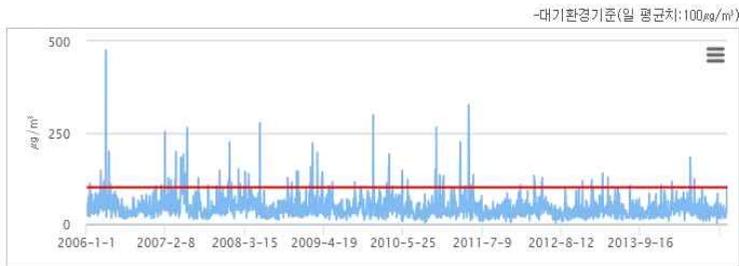
03

1. 환경 및 건강영향

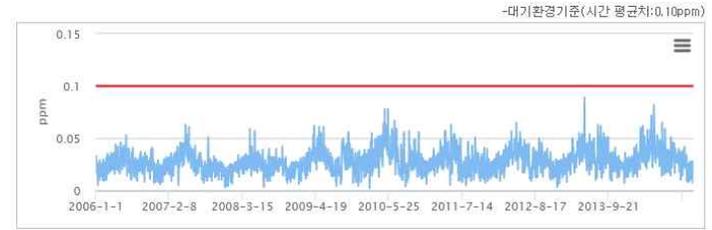
- 산업단지의 환경영향평가 작성 및 검토매뉴얼 지침(한국환경정책·평가연구원)을 근거로 하여, 대기·해양수질·토양·자연환경·경관·인체건강 분야에 대해 기존의 문헌검토와 관련통계자료 분석을 통해서 대산석유화학단지 주변지역에서 예상되는 주요 영향을 검토하였음

1) 대기 환경에 미치는 영향

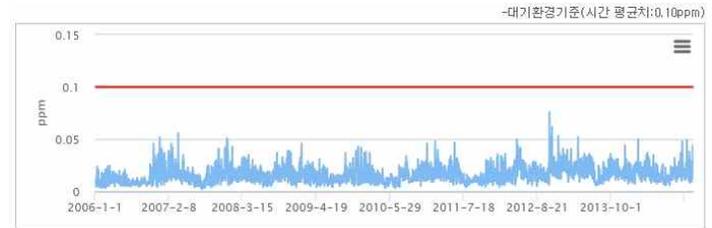
- [도시대기측정망]대산석유화학단지의 해당구역 도시대기측정망인 서산시 독곶리 측정망을 중심으로 주요 대기오염물질별로 장기간 추이를 살펴보면 <그림 6,7,8,9>와 같이 대기환경기준을 초과하는 횟수는 감소하고 있음(국립환경과학원 에어코리아 자료)



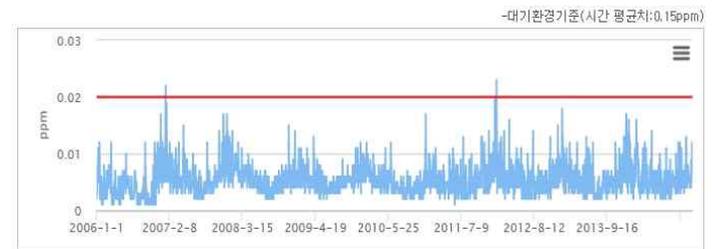
[그림 6] 미세먼지(PM₁₀) 일평균 추이(2006년~2014년)



[그림 7] 오존(O₃) 일평균 추이(2006년~2014년)

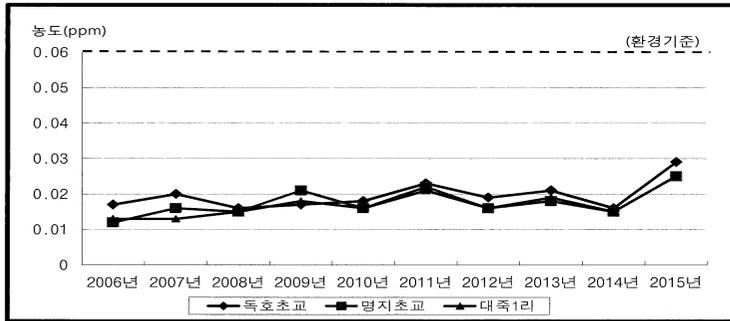


[그림 8] 이산화질소(NO₂) 일평균 추이(2006년~2014년)

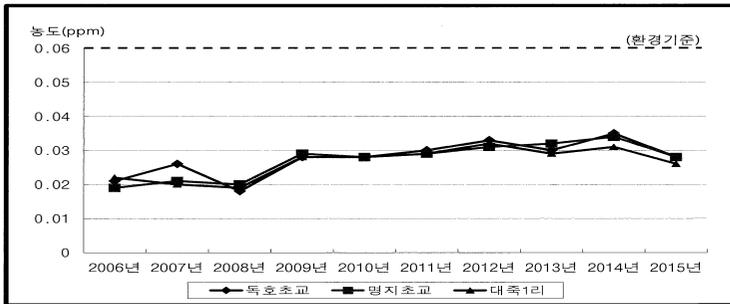


[그림 9] 아황산가스(SO₂) 일평균 추이(2006년~2014년)

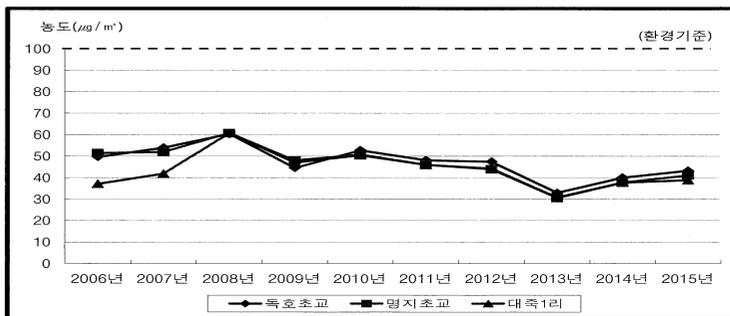
- [사후환경영향조사]대산석유화학단지 주요업체의 사후환경영향조사의 자료를 검토한 결과, 사업지구 주변 10km 이내 대기질의 경우 대체적으로 환경기준보다 낮은 수준이나 최근 이산화질소, 오존, 미세먼지의 농도는 증가하는 추세를 보임(그림 10,11,12)



[그림 10] 연도별 이산화질소(NO₂) 농도변화

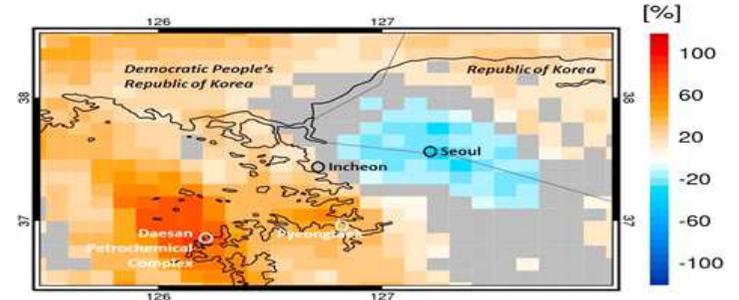


[그림 11] 연도별 오존(O₃) 농도변화



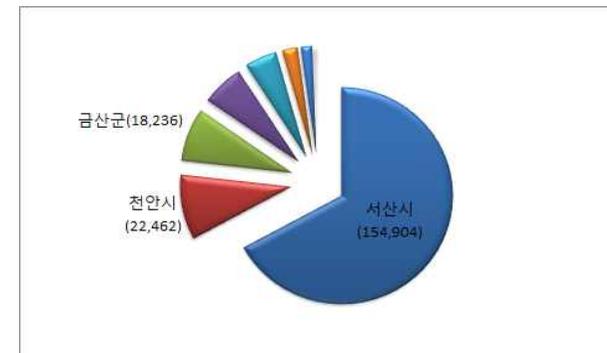
[그림 12] 연도별 미세먼지(PM₁₀) 농도변화

- [미국항공우주국(NASA)]2004년~2014년까지 10년 동안 전 세계 195개 도시의 이산화질소 위성관측 자료를 발표한 결과, 충남 서산 대산이 세계에서 이산화질소가 가장 급격하게 심해진 지역으로 나타남. 그 원인으로서는 서해 해상의 이산화질소가 높아지는 것은 원유나 석탄 같은 원자재나 생산품을 선박에 싣고 내리는 과정에서 발생하는 것으로 추정함



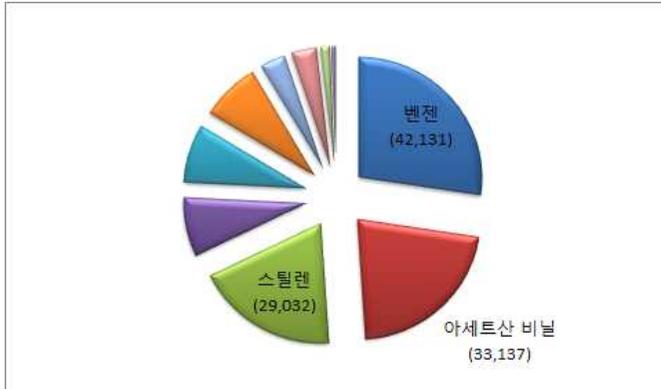
[그림 13] 10년간 국내 이산화질소 발생량 변화량
자료 : NASA, 2016

- [발암물질 대기배출량]2014년도를 기준으로 충청남도에서 대기로 배출되는 모든 발암물질의 배출량의 경우 서산시가 154,904 kg/년으로서 가장 많은 것으로 나타났음(화학물질배출·이동량정보시스템)



[그림 13] 충남 시군별 발암물질의 대기배출량(kg/년)

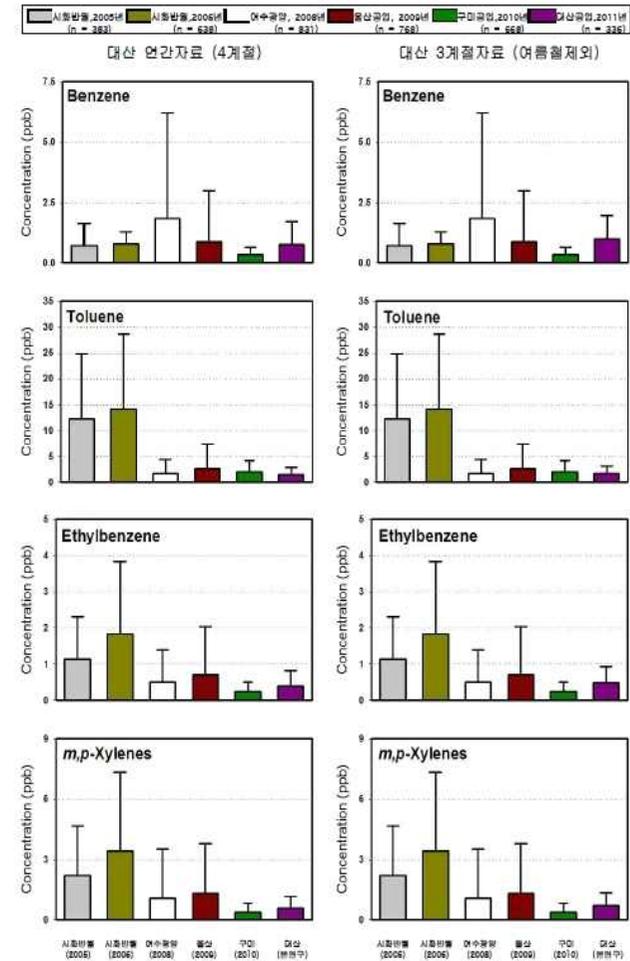
- [대기로 배출되는 발암물질종류]2014년도를 기준으로 충청남도 서산시에서 대기로 배출되는 발암물질 중에서 가장 많이 배출되는 물질은 벤젠으로서 42,131 kg/년이고 다음은 아세트산 비닐 33,137 kg/년, 스티렌 29,032 kg/년 인 것으로 나타남(화학물질배출·이동량정보시스템)



[그림 14] 충남 서산시의 대기로 배출되는 발암물질 종류(kg/년)

- [휘발성유기화합물(VOCs)]2012년 국립환경과학원에서 대산지역을 대상으로 66종의 휘발성유기화합물을 측정된 결과는 다음과 같음
 - 벤젠과 톨루엔을 포함한 25종의 물질이 50% 이상의 검출빈도를 나타냄
 - 평균농도에서는 헥산이 1.83 ppb로서 가장 높았으며, 다음으로는 톨루엔, 에틸아세테이트, 벤젠, 스티렌의 순이었음
 - 벤젠의 경우 환경기준농도 이하로 나타났지만 다른 지역의 일반 주거지점보다 농도가 높았고, 톨루엔·에틸벤젠·자일렌의 경우 역시 전반적으로 높게 나와 대산지역은 산업체에서 생산·사용되는 휘발성유기화합물이 인근 주거지역에 영향을 미치는 것으로 판단함
 - 대산지역과 국내 타 산단지역의 휘발성유기화합물 농도를 비교해 본 결과, 벤젠은 여수보다 낮고 나머지 산단과는 유사하였고 석유정제산업과 밀접한

관련이 있는 헥산과 스티렌의 경우 울산보다 낮았지만 나머지 산단에 비해서 높게 나타내어 석유제품 관련 산단의 특성을 잘 나타냄



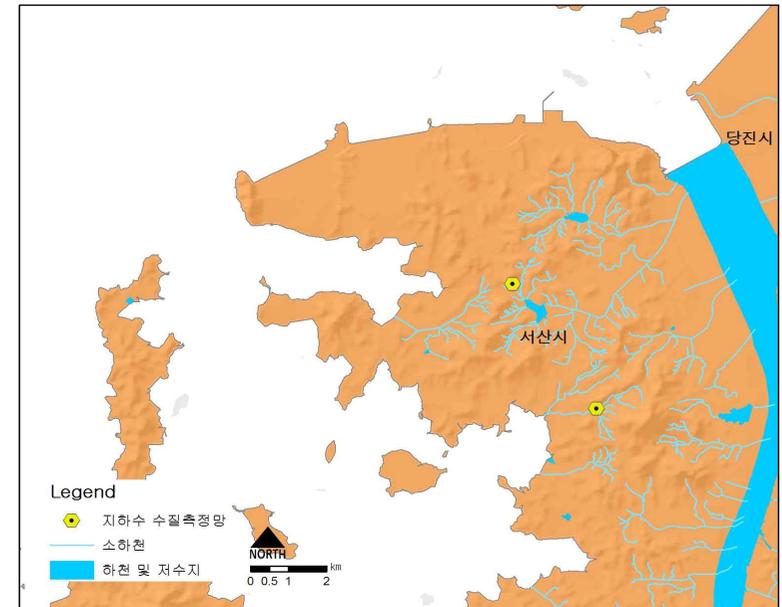
[그림 15] 국내 주요 산단별 휘발성유기화합물 농도 비교

자료 : 국립환경과학원, 2012

- 종합적으로 볼 때 대산석유화학단지의 대기질은 환경기준을 만족하고 있으나 최근에 이산화질소와 오존, 미세먼지의 농도는 증가하고 있는 경향을 보이고 있음. 또한 대기로 배출되는 발암물질 배출량의 경우 충남 시군 중에서 서산시가 가장 많았음. 물질 중에서는 인체에 유해한 벤젠의 배출량이 가장 많았고, 벤젠 농도의 경우 환경기준농도 이하이지만 다른 지역의 일반 주거지점보다 농도가 높은 것으로 나타남

2) 수질 환경에 미치는 영향

- [수계현황] 대산석유화학단지가 위치한 대산읍의 수계현황을 살펴보면 대산석유화학단지가 직접적으로 영향을 줄 수 있는 하천 및 호소 수계는 없는 것으로 나타남. 다만 석유화학단지의 경우 유류저장시설이 위치하는 등 유류 누출에 의한 토양, 지하수 오염에는 영향을 미칠 수 있으므로 지하수 수질측정망 등을 통해 지속적 관찰이 필요한 상황임



[그림 16] 대산석유화학단지 인근 수계도

- [지하수 수질 현황] 대산석유화학단지 인근 5km 이내에 위치한 관측망(생활용수, 음용, 시도관측망)의 측정결과 질산성 질소와 염소이온의 경우 미량 검출되었으나 기준치 이내인 것으로 나타남. 다만 향후 인근 지하수 관정에 대한 먹는물 수질 검사를 통하여 영향 여부를 추가 검토할 필요는 있는 것으로 판단됨

- [해양수질 현황(국가자료)] 국가해양환경정보통합시스템(MEIS) 자료에 의하면 대산지역의 정점은 실제 석유화학단지과 이격거리가 매우 커 직접적인 영향 분석을 파악하기에는 불가능하나 가장 가까운 지점의 생태기반 해양수질등급은 1~2등급으로 나타남



[그림 17] 국가 해양수질등급 분포도(대상지역 인근)

자료 : MEIS(국가해양환경정보통합시스템), 2016

- 수질평가지수(WQI) : 우리나라 해양환경 특성에 적합한 종합적인 해역수질평가 기준 설정을 위해 해역을 해류, 조석, 탁도, 수심 등을 기준으로 다섯 가지의 생태구(동해, 대한해협, 서남해협, 서해중부, 제주 생태구)로 구분하고 부영양화의 원인항목(용존 무기질소(DIN), 용존 무기인(DIP)과 일차반응항목(클로로필(Chl-a), 투명도(SD))과 이차반응항목(저층 용존산소포화도(DO))에 해당하는 항목을 평가항목으로 계산한 수질 등급
- 수질평가지수(WQI) 산정결과 23 이하는 I 등급(매우 좋음), 24~33은 II 등급(좋음), 34~46은 III등급(보통), 47~59는 IV등급(나쁨), 60 이상 경우 V 등급(매우 나쁨)에 해당함

- [사후환경영향조사] 대산석유화학단지 주요업체의 사후환경영향조사의 자료를 검토한 결과, 해양수질 측정결과 모든 측정지점에서 환경기준보다 낮은 수준으로 나타났으며, 연도별 추이는 유사하게 나타나는 등 특이사항은 없는 것으로 나타났고 2등급 이상의 해역수질을 유지하는 것으로 조사됨. 다만 Cr⁺⁶, Pb, Zn, Cu 성분이 미량 검출되는 것으로 나타남

- [해양수질 현황(충남자료)] 2015년 실시된 충청남도 서해안 연안환경 모니터링 자료²⁾는 다음과 같음

- 항목별 농도를 살펴보면 N3(대산연근해) 지점의 경우 특이사항은 발견되지 않았으며 대체적으로 해양환경기준 이내로 나타남
- H1(대산항만) 지점의 경우 용존무기질소와 용매추출유분 성분이 서해 타 지역에 비해 높게 나타났음(용매추출유분의 경우 해양환경기준(10μg/L) 이하). 특히, 유류는 해양으로의 광투과를 억제하고, 유류자체의 독성과 유처리제 사용에 따른 영향으로 해양생태계의 일차생산자인 식물플랑크톤을 치사시킬 뿐만 아니라 해조류, 저서무척추동물, 어류 등 해양생태계에 영향을 미치는 것으로 알려짐

[표 4] 충청남도 서해안 연안환경 관측 결과

구분	항목 ^{주1)}	N3 ^{주2)}		H1 ^{주3)}	
		표층	저층	표층	저층
해양수질	수심(m)	37.0	37.0	18.0	18.0
	투명도(m)	1.5	1.5	2.0	2.0
	수온(°C)	13.1	13.2	13.1	13.0
	DO(mg/L)	7.6	7.6	7.5	7.8
	SPM(mg/L)	24.3	10.6	12.9	20.6
	COD(mg/L)	1.3	1.9	1.3	1.8
	Chl-a(μg/L)	1.75	1.90	1.32	1.04
	T-N(mg/L)	0.35	0.28	0.31	0.31
	T-P(mg/L)	0.03	0.03	0.02	0.04
	용매추출유분(μg/L)	-	-	3.22	-

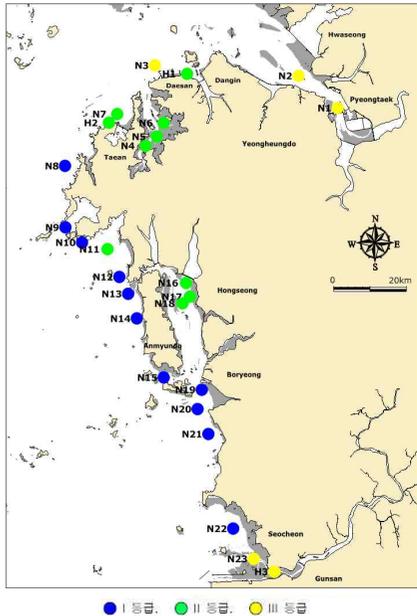
주1) 주요 항목만 발체하여 정리함

주2, 주3) 측정지점 위치는 그림18 참조

자료 : 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구용역, 충청남도, 2015.

2) 국가에서 실시되고 있는 해양 조사 정점을 보완할 수 있고, 충청남도 내 각종 오염 우려지역의 영향을 분석할 필요가 있는 지점을 중심으로 2015년부터 추가적으로 실시되고 있는 연차별 모니터링에 해당함(현재 2016년 측정 실시 중). 금번 검토는 대산지역에 위치한 N3지점과 H1지점을 중점적으로 분석하여 정리함

- 수질평가지수 결과 대산항 연근해역의 경우 저층 용존산소포화도가 상대적으로 낮아서 III(보통)등급으로 나타남. 이는 국가 정점보다 가까워진 본지점의 경우 II등급에서 III등급으로 낮아지는 등 대산 연근해에 대한 조사 결과를 향후 면밀히 관찰해야 함을 시사한다고 볼 수 있음



[그림 18] 각 정점별 생태기반 해수수질 등급도(대상지역 인근)

자료 : 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구용역, 충청남도, 2015

● [해양생물 체내 중금속 현황]

- 굴의 체내 중금속 농도를 파악하기 위해 서산 연안에서 채취한 굴의 중금속 농도 분석 결과 국내 연안에서 수행된 기존 결과와 비교할 때 몽산포보다 다소 높게 나타남. 납과 카드뮴의 경우 국내 및 EU 기준치 이하이긴 하나 1회 측정 결과이므로 향후 지속적인 모니터링이 필요한 상황임

[표 5] 패류 중금속 분석 결과

[단위 : mg/kg]

	Cr	Cu	Pb	Zn	Cd	As	Hg
서산연안	0.34~0.42	39.1~54.7	0.33~0.37	121~156	0.57~0.61	0.93~0.98	0.011~0.051
국내기준			2.0		2.0		
EU기준			1.5		1.0		

자료 : 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구용역, 충청남도, 2015.

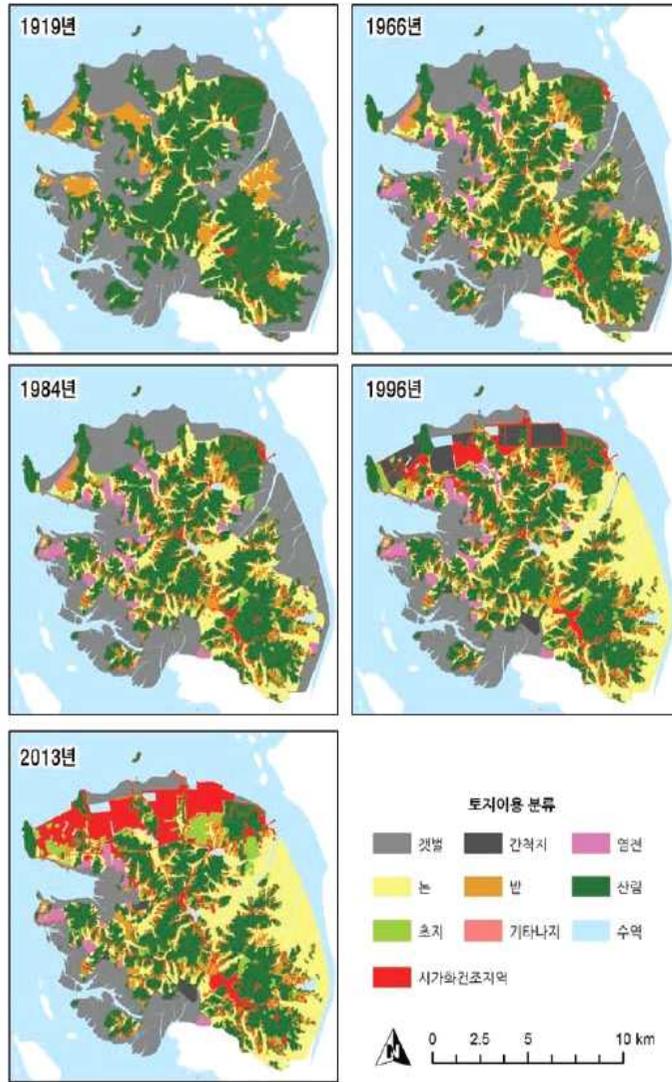
- 종합적으로 볼 때 대산석유화학단지의 지하수수질 및 해양수질은 환경기준을 만족하고 있으나 지하수의 경우 유류누출로 인한 토양-지하수 연계 오염, 중국에는 인근 하천 등 공공수역 오염으로까지 진행될 수 있으므로 지속적인 모니터링이 필요한 상황이며 해양수질의 경우 현재는 2~3등급 수준을 보이긴 하나 조사 정점에 따라 결과가 달라질 수 있으므로 향후 악화 예고증상이 있을 경우 정점을 늘리는 등 정밀 모니터링을 고려해 볼 수 있음
- 또한 해양생물의 경우 패류(굴)에 대한 조사만 이루어졌기 때문에 추가 패류나 어류 등에 대한 조사가 필요할 것으로 판단됨. 이는 해양생물의 감소, 해양생태계의 악화, 최종적으로는 인체의 건강에 까지 영향을 미칠 수 있기 때문임

3) 토양환경에 미치는 영향

- 석유화학단지에는 많은 유류 저장시설이 매우 복잡하고 광범위한 관로에 의해 연결되어 있음. 이러한 시설들은 사용연한에 따라 노후화가 진행되고 있으며 토양중의 미생물의 활동은 소송관로 시설의 부식을 가중시켜 유류가 누출되어 토양오염을 초래할 수 있음
- 미국환경청(USEPA) 자료에 의하면, 유류저장시설 중에서 항시 약 20%에 달하는 시설에서 누출될 가능성이 존재한다고 평가하였음
- 이러한 토양오염은 토지의 지가를 하락시키는 경제적인 피해뿐만 아니라 장기적으로 주변의 환경으로 오염물질이 전이되고 축적되면서 지하수 오염, 농작물의 생육에 영향을 미치는 등의 2차 오염을 발생시킬 수 있음
 - 환경부는 토양환경보전법 제2조에 의거해서 토양 중에서 분해되지 않고 오랫동안 잔류하여 농작물의 생육을 저해하고 사람의 건강에 영향을 미치는 토양오염물질로 중금속, 석유계총탄화수소, 농약, PCB, 기타 독성물질 등을 지정하여 관리하고 있음
 - 다양한 형태의 석유탄화수소가 토양으로 들어가지만 이들 중 가장 많은 양을 차지하는 것은 알칸(파라핀), 시클로알칸(나프텐), 올레핀계 및 방향족 탄화수소 등으로 알려져 있음
 - 방향족 탄화수소는 벤젠, 톨루엔, 크실렌과 에틸벤젠이 대표적인 물질로 쉽게 부가반응이 발생하지는 않지만, 축매에 의해 치환반응이 발생하면서 동물과 식물에 아주 유독하기 때문에 토양환경에 심각한 영향을 줄 수 있음
 - 오염된 토양에 의해 지하수와 농작물이 오염될 수 있으며 먹이사슬에 의해 최종적으로 인체의 건강까지 영향을 미칠 수 있음

4) 자연환경, 취락경관에 미치는 영향

- 산업단지가 조성되면서 유해대기오염물질 및 산성 강하물은 토양을 오염시키고 생태계를 파괴하는 것으로 알려져 있음. 대규모 산업단지가 조성되면서 나타나는 자연환경의 변화에 대해 환경부에서 조사한 자료를 요약하면 다음과 같음(국립환경과학원, 2013)
 - 환경부에서는 환경오염에 따른 생태계 변화에 대처하기 위한 기초자료를 확보하기 위해 2008년도부터 여천공업단지 주변을 조사지로 선정하여 장기생태모니터링을 실시하고 있음
 - 황산화물 등의 가스에 의해 식물 잎의 변색, 조기낙엽, 엽내 오염물질함량의 축적, 종변화 등 산림생태계에 전반적으로 악영향을 미치고 있는 것으로 나타났음
- 대산석유화학단지가 개발되면서 지역의 경관변화에 미친 영향을 분석한 정석호와 진중헌(2014)의 연구의 결과는 다음과 같음
 - 대산읍의 토지이용변화를 보면, 1966년 사이의 토지이용 변화는 북부 해안 지역을 중심으로 염전의 확장이 뚜렷하게 나타나고 산림지는 크게 감소
 - 1984년과 1996년 사이의 토지이용 변화를 살펴보면, 대규모 간척사업에 의해 해안선을 단순화시키는 변화가 일어났음
 - 1996년과 2013년 사이의 토지이용 변화는 대죽리와 화곡리 일대에 석유화학단지 사옥 및 연립주택이 건설되면서 논과 산림지가 시가화 지역으로 급속하게 변화됨
 - 대산석유화학단지 입지에 따른 취락경관의 변화를 보면, 지역경관은 염전과 농경지, 산림지 등 전체적으로 비슷한 경관에서 북부는 2차 산업, 대산남부는 3차 산업, 서부·동부는 1차산업과 관련된 경관으로 구분되는 특성을 가짐



[그림 19] 대산읍의 토지이용변화

자료 : 정석호와 진종현, 2014

5) 인체건강에 미치는 영향

- 석유화학단지에서 배출되는 대표적인 대기오염물질 중에 휘발성유기화합물(VOCs)과 질소산화물(NOx)은 전구물질로 작용하여 인체에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 오존(O₃)물질을 생성함
 - 오존(O₃)의 농도는 광화학반응이나 확산 등에 영향을 주는 기상조건에 따라 달라질 수 있으며 이러한 점을 고려하였을 때 오존 농도는 6월이 가장 높은 것으로 나타남
- 다양한 국내·외 연구를 통해서 오존(O₃)은 천식 등의 호흡기계 질환을 일으키며 폐기능을 손상시키고 눈의 염증, 두통 및 신체적 불편감 유발, 심혈관계 질환 등을 악화시키는 것으로 밝혀짐. 특히 호흡기 기저질환이 있는자, 어린이, 노약자 등 취약계층에게서 그 피해가 크게 나타남

[표 6] 오존에 의한 국내·외 주요 건강영향 결과

국가	건강영향	비고	
국외	전 연령군에서 천식과 호흡기질환 입원률은 오존과 황산화물의 농도와 관련 있었음	Bates and Sizto, 1983	
	35~64세의 연령군에서 천식은 오존과 황산화물과 관련이 있었음	Burnett 등, 1994	
	뉴욕과 토론토지역에서 오존은 전체호흡기 질환과 천식입원의 예측인자로 작용함	Delfino 등, 1994	
	멕시코시티의 16세 미만의 어린이를 대상으로 조사한 결과, 최대오존농도가 50ppb 증가할 때 천식으로 인한 응급실 방문의 위험도는 1.43배 증가함	Romieu 등, 1996	
	미국 노인에서 오존은 폐염과 만성호흡기질환의 입원과 관련이 있는 것으로 나타남	Schwartz, 1998	
유럽	London, Amsterdam, Rotterdam, Paris, Milan 등 5개 도시를 중심으로 분석한 결과, 호흡기 질환 입원률과 가장 관련성이 있는 물질은 오존이었으며, 이러한 소견은 65세 이상의 노인 층에서 강하게 나타남	APHEA 프로젝트 (2001~2008)	
국내	서울	오존은 급성상기도 질환과 급성 하기도 질환에 영향을 미치는 것으로 나타남	임종환 등, 1998
	인천	응급실 내원건수의 증가와 이산화질소, 오존, 부유분진의 농도가 유의한 관련성이 있었음	최현 등, 2000
	서울	오존이 뇌경색 사망률과 관련이 있고 5.7% 정도 사망률을 높이는 것으로 나타남	홍윤철 등, 2001
	전국	오존농도가 21.1 ppb 증가할 때 천식으로 인한 입원의 위험은 3.6% 증가함	박윤형 등, 2010

- 미국 EPA에서는 오존에 의한 건강영향평가를 동물연구, 통제된 인간노출 연구, 대기 노출에 대한 현지조사, 병원 출입 조사의 4가지로 구분하여 실시하였으며 다음의 결과를 도출함

[표 7] 오존의 노출 농도와 시간에 따라 인체(동물)에 미치는 건강영향

오존(ppb)	노출시간	인체(동물)에 미치는 영향
20	5분	취기감지
30~300	1시간	육상선수의 기록저하
50~100	30분	불안감
50~200	-	코, 인후의 자극
50~600	1시간	천식 환자의 발작빈도 증가
80	3시간	동물(쥐)의 세균감염, 감수성 증가
100	30분	두통, 눈 자극
	1시간	시각장애, 폐포 내의 산소 확산력 저하
	2시간	폐동맥 산소분압 증가
100~250	24시간	눈자극 증상 증가
	30분	호흡수 증가
200	1시간	동물(쥐)의 적혈구 변형
	6시간	동물(쥐)의 자율운동 감소
200~800	-	눈 자극
300	-	호흡기 자극, 가슴압박
	5분	호흡량 증가
340	2시간	도물 호흡량 증가
350	3~6시간	시력 감소
370~750	2시간	호흡량 현저히 감소
400	2~4시간	기도저항증가, 호흡량 감소
	2시간	폐기능 저하
	6시간	기도저항의 증가와 폐기능 현저한 감소
500	2~6시간	동물(쥐)의 폐세포 팽창
	2시간	기관지 자극, 폐기능 저하, 폐확산력 감소
600~800	-	폐충혈
800~1,500	-	폐충혈
900	5분	기도저항의 심각한 감소
1,000	6시간	동물(쥐)의 사망률 증가
1,500~2,000	2시간	심한 피로, 가슴통증, 기침
9,000	-	급성 폐부종

자료 : EPA(원본), 오만택, 2015(재인용)

- 석유화학산업의 생산 공정에서 발생하거나 대기로 배출되는 휘발성유기화합물(VOCs)로 인해 석유화학산업에 종사하는 작업자와 주변 인근지역의 주민들에게 다양한 종류의 유기화합물에 노출될 가능성이 제기됨

- 휘발성유기화합물(VOCs)에 의한 독성은 휘발성유기화합물의 구조, 노출농도와 기간, 다른 휘발성유기화합물와의 복합 노출, 개인의 요소, 표적장기의 분포 등에 따라 다르게 나타나지만 중추신경계, 말초신경계, 피부 및 점막, 신장, 간, 조혈기관 등에 영향을 미치는 것으로 알려져 있음

[표 8] 휘발성유기화합물의 건강위해성

물질	건강영향
벤젠	조혈기능 장애(범혈구감소증, 재생불량증 빈혈), 발암성(백혈병)
할로겐화탄화수소	간독성, 신독성, 심장독성, 동물에서 발암성
염화비닐	근골격계 장애, 간독성, 발암성
메탄올	시력상실, 대사성 산증
포름알데히드	알레르기성 피부염, 폐기능저하, 동물에서의 발암성
노말 헥산	말초신경 장애

자료 : Keith&Walker, 1993

- 특히 휘발성유기화합물(VOCs) 중에서 벤젠의 경우, 다양한 연구를 통해 석유화학산업에 종사하는 근로자에게서 백혈병과 다발성 골수암, 림프조직계암을 일으키는 발암물질로 규명됨
- 낮은 농도의 만성적인 노출뿐만 아니라 고농도의 단기간 노출 역시 암을 발생시킨다는 결론을 도출함

[표 9] 벤젠 노출에 의한 건강영향(근로자 대상)

구분	건강영향	비고
국외	pliofilm제조 공장에서 근무하는 작업자들을 대상으로 35년간 추적조사한 결과, 벤젠에 의한 만성적 노출이 백혈병 유발 위험성을 높이는 것으로 나타남	Infante and Rinsky, 1977
	고농도의 벤젠 농도에 노출되는 횟수가 증가할수록 백혈병에 의한 사망확률이 높아짐	Schnatter 등, 1966
	화학공장에서 근무하는 4,417명의 작업자를 대상으로 조사한 결과, 벤젠의 간헐적인 고노출에 의해 다발성 골수암에 의한 사망 확률이 유의하게 증가하였음	Collins, 2003
국내	화학공장에서 근무하는 4,417명의 작업자를 대상으로 조사한 결과, 단기간 고 노출의 특성이 있음을 밝힘	최상준 등, 2005
	석유산단의 석유화학산업 근로자들을 대상으로 조사한 결과, 호흡기계통 질환, 암 등과 관련된 증상과 질병발생에 대한 우려를 호소하고 있었음	최상준 등, 2007
	석유정제 및 석유화학공장에서 근무했던 19,414명의 남성근로자를 대상으로 코호트 연구를 시행한 결과, 남성 근로자에서 림프조절계암에 의한 표준화비례사망비는 225로 일반인구집단에 비해 유의하게 높았음	고동희, 2007

- 석유화학단지 주변의 주민들을 대상으로 하여 휘발성 유기화합물의 호흡으로 인한 위해도를 확률론적으로 평가한 연구(이진홍 등, 1998)결과에 의하면, 남성과 여성에 대한 5th~95th percentile 총 발암 위해도는 허용 위해도 기준인 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 을 초과하는 것으로 나타났음
- 2012년에 국립환경과학원에서 대산지역을 대상으로 발암성 휘발성유기화합물의 위해성 평가 결과, 인구집단의 50%가 영향을 받는 위해도를 평균 위해성으로 가정할 때, 1,2-디클로로에탄, 벤젠의 발암 위해도는 자연발생 발암위해도 수준을 나타내는 허용위해도($1.0E-06$)를 초과하는 것으로 나타났음(표 5)

[표 10] 대산지역의 발암성 휘발성유기화합물에 대한 발암 위해도

구분	물질	지역	Percentiles						
			5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
발암성	1,2-Dichloroethane	독살리	3.43.E-07	4.02.E-07	5.79.E-07	1.16.E-06	3.09.E-06	8.50.E-06	1.58.E-05
		대죽리	2.66.E-07	2.98.E-07	3.63.E-07	5.12.E-07	1.72.E-06	1.04.E-05	3.36.E-05
		대산읍	2.64.E-07	2.94.E-07	3.58.E-07	5.03.E-07	1.84.E-06	1.35.E-05	4.70.E-05
	1,3-Butadiene	독살리	1.84.E-07	2.07.E-07	2.61.E-07	4.01.E-07	9.60.E-07	2.88.E-06	5.81.E-06
		대죽리	1.57.E-07	1.73.E-07	2.05.E-07	2.50.E-07	3.50.E-07	9.99.E-07	2.70.E-06
		대산읍	1.51.E-07	1.65.E-07	1.92.E-07	2.28.E-07	2.78.E-07	4.13.E-07	8.70.E-07
	Acrylonitrile	독살리	3.58.E-07	3.98.E-07	4.76.E-07	6.11.E-07	1.35.E-06	8.01.E-06	2.77.E-05
		대죽리	3.44.E-07	3.78.E-07	4.45.E-07	5.35.E-07	6.98.E-07	1.53.E-06	3.72.E-06
		대산읍	-	-	-	-	-	-	-
	Benzene	독살리	4.97.E-07	8.93.E-07	2.05.E-06	4.63.E-06	1.00.E-05	1.95.E-05	2.91.E-05
		대죽리	5.18.E-07	8.62.E-07	1.75.E-06	3.52.E-06	6.73.E-06	1.19.E-05	1.65.E-05
		대산읍	4.82.E-07	6.71.E-07	1.15.E-06	2.06.E-06	3.70.E-06	6.16.E-06	8.40.E-06
	Carbontetrachloride	독살리	2.20.E-07	2.49.E-07	3.19.E-07	4.77.E-07	8.64.E-07	1.70.E-06	2.68.E-06
		대죽리	1.43.E-07	1.81.E-07	2.78.E-07	4.62.E-07	7.89.E-07	1.31.E-06	1.76.E-06
		대산읍	1.47.E-07	1.81.E-07	2.71.E-07	4.55.E-07	8.09.E-07	1.39.E-06	1.95.E-06
	Chloroform	독살리	2.63.E-07	2.90.E-07	3.43.E-07	4.21.E-07	6.50.E-07	3.65.E-06	1.54.E-05
		대죽리	2.56.E-07	2.81.E-07	3.29.E-07	3.91.E-07	4.83.E-07	8.33.E-07	2.05.E-06
		대산읍	2.56.E-07	2.81.E-07	3.28.E-07	3.90.E-07	4.79.E-07	7.65.E-07	1.73.E-06
	Dichloromethane	독살리	4.05.E-09	4.50.E-09	5.41.E-09	7.04.E-09	1.49.E-08	6.25.E-08	1.71.E-07
		대죽리	3.89.E-09	4.29.E-09	5.09.E-09	6.28.E-09	9.85.E-09	3.99.E-08	1.26.E-07
		대산읍	4.01.E-09	4.45.E-09	5.34.E-09	6.95.E-09	1.63.E-08	8.94.E-08	2.99.E-07
	Tetrachloroethylene	독살리	4.11.E-09	4.53.E-09	5.33.E-09	6.50.E-09	9.32.E-09	4.51.E-08	1.85.E-07
		대죽리	4.03.E-09	4.42.E-09	5.19.E-09	6.18.E-09	7.75.E-09	1.58.E-08	4.62.E-08
		대산읍	3.97.E-09	4.35.E-09	5.07.E-09	6.00.E-09	7.24.E-09	1.04.E-08	2.34.E-08
Trichloroethylene	독살리	5.08.E-08	5.63.E-08	6.69.E-08	8.38.E-08	1.81.E-07	1.96.E-06	1.07.E-05	
	대죽리	5.08.E-08	5.63.E-08	6.69.E-08	8.31.E-08	1.69.E-07	1.58.E-06	8.26.E-06	
	대산읍	5.01.E-08	5.53.E-08	6.54.E-08	8.01.E-08	1.28.E-07	9.19.E-07	4.51.E-06	
Vinyl chloride	독살리	4.90.E-08	5.37.E-08	6.21.E-08	7.23.E-08	8.34.E-08	9.46.E-08	1.02.E-07	
	대죽리	4.90.E-08	5.34.E-08	6.18.E-08	7.19.E-08	8.26.E-08	9.38.E-08	1.01.E-07	
	대산읍	-	-	-	-	-	-	-	

자료 : 국립환경과학원 2012

- 석유화학단지 주변지역 주민들에게서 가장 많이 호소하는 생활환경요인은 휘발성유기화합물과 악취원인물질(황화수소, 메르캅탄류, 암모니아 등)에 의한 악취이며 이에 대한 자각증상과 질병상태 등을 조사한 연구 결과는 다음과 같음(이진현 등, 2007)

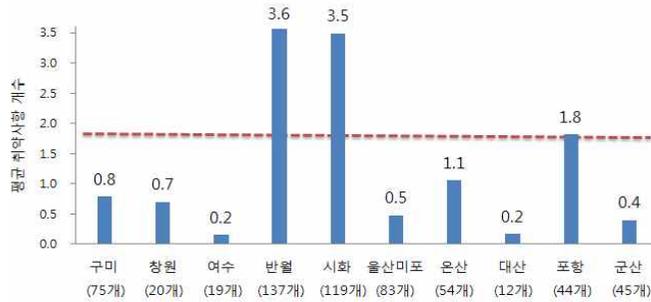
- 석유화학단지와 석탄화력발전소 인근지역에서 악취를 느꼈다고 응답한 주민들 1,358명을 대상으로 조사한 결과, 악취를 느끼고 있다고 응답한 주민은 58%로 일반 농어촌 지역주민의 24.4%에 비해서 높았음
- 악취발생 강도에 대해서는 한달 평균일수가 일반 농어촌지역에서는 약 4.4일이라고 응답한 반면, 석유화학공단 인근지역에서는 약 9.5일이라 하였음
- 악취의 자극증상을 경험한 수준으로는 두통, 재치기, 눈의 가려움 현상, 눈의 자극증상 등으로 나타났으며, 농어촌 지역주민에 비해 통계적으로 유의한 차이로 호소한 자극증상은 두통, 메스꺼움, 목구멍이 아픈 현상, 가슴에서 “씩씩”거리는 소리가 발생하는 천명현상인 것으로 분석됨
- 악취발생을 느꼈다고 응답한 주민들의 가족들 중에서 천식발생은 15.4%, 호흡기계질환 발생은 12.4%, 신경계질환 발생은 9.1%, 피부질환발생은 27.8%로 농어촌지역에 비해 통계적으로 유의한 수준으로 높았음

2. 관련 법·제도 검토

1) 석유화학단지 화학물질 관리 관련 법·제도

- 석유화학 산업단지의 안전관리는 고용노동부의 「산업안전보건법」, 국민안전처의 「위험물안전관리법」, 「재난 및 안전관리기본법」, 환경부의 「환경보전법」, 「화학물질관리법」, 「환경영향평가법」 등 부처별 개별법으로 규제되고 있음(주현수 외, 2013)
 - 「산업안전보건법」에서는 유해물질 700여 종을 물리적 위험성, 건강 및 환경 유해성으로 분류·지정하여 공정안전관리제도(PSM)에 의해 관리하고, 안전관리자의 배치, 명예산업안전감독관 제도 및 산업재해 발생 우려가 있을 때 근로자의 작업중지 및 안전·보건진단 요구의 내용을 담고 있음
 - 「위험물안전관리법」에서는 위험물 3,000여종을 성질에 따라 분류·지정하여 위험물의 저장, 취급 및 운반에 대한 안전관리를 시행토록 함
 - 「환경보전법」은 환경성질환의 발생 또는 환경유해인자로 인한 건강피해가 우려되거나 의심되는 지역 주민에 대한 역학조사 항목을 담고 있음
 - 「화학물질관리법」은 화학물질의 통계조사 및 정보체계 구축, 화학물질 배출량 조사를 실시토록 하고 있음
- 우리나라의 산업단지는 유형별, 지역별, 산업단지별로 관리주체와 업무 범위가 달라 통합적 화학물질 관리가 부족함(주현수 외, 2013)
 - 유형별(국가산단, 일반산단, 도시첨단, 농공단지)별로 관리주체가 다르고, 지역별, 산업단지 내 시설(도로, 전력, 가스, 용수, 하폐수처리시설 등)에 따라서도 관리기관이 분산되어 있음
- 2012년 9월 구미국가산업단지 불산 누출, 2013년 3월 여수국가산업단지 내 폭발사고 등 석유화학 산업단지의 화학물질 사고가 빈번해지면서 정부 합동으로 전국 유독물 취급사업장 3,846개소에 대한 전수 조사 실시(환경부, 2013)

- 조사 결과, 시설 노후화, 배관 연결상태, 전기설비의 폭발 방지시설 구비 여부 등 화학사고 위험 항목에 대해 취약한 사건이 1건 이상 발견된 업체가 전체 조사업체의 42%에 달함
- 20년 이상 경과된 노후 산업단지 중 중소기업 사업장 위주로 구성된 반월공단, 시화공단의 취약성이 높게 나타났으며, 상대적으로 신규 산업단지인 대산공단은 취약성이 낮게 나타났음



[그림 5] 산업단지별 평균 취약항목 개수

자료 : 환경부, 2013

2) 최근 도입된 유해화학물질 및 유해대기오염물질 관련 제도

- 석유화학단지 주변지역의 환경 영향에 대한 정기적인 조사연구 및 측정·평가를 제도화하는 방안 마련 필요
 - 2015년 환경부는 대기환경보전법에 의한 유해대기오염물질 비산배출관리제도와 화학물질관리법에 의한 장외영향평가 제도를 도입한 바 있음
 - 유해대기오염물질의 배출 및 유해화학물질 사고가 주변지역에 미치는 부정적인 영향을 최소화하고자 하는 노력으로 볼 수 있으나, 정기적인 측정·평가를 의무화하지는 않음
- 환경부의 유해대기오염물질 비산배출관리제도 도입(대기환경보전법 제38조)

- 환경부는 공정 및 설비 등에서 대기 중으로 직접 배출되는 대기오염물질을 관리하기 위해 2015년부터 유해대기오염물질 비산배출관리제도를 시행
- 원유 정제처리업, 석유화학계 기초화학물질 제조업, 합성고무 제조업, 합성수지 및 기타 플라스틱 제조업, 제철 및 제강업 등 6개 업종이 우선 선정
- 해당 사업장은 관할 환경청에 신고하고 시설관리 기준 준수(관리 담당자 지정·운영, 관리대상물질의 대기환경농도 파악 위한 자율적 노력, 시설관리 기준을 충족하지 못하는 상황 발생 시 45일 내 신속 조치 등) 의무(운영기록부 작성 및 연간 점검보고서 제출)

[표 11] 업종별 관리대상 물질

업종	관리대상물질	
	공통 적용물질	업종별 적용물질
원유정제처리업, 파이프라인 운송업, 위험물품 보관업	특정대기 유해물질	메탄올, 메틸에틸케톤, 엔티비이(MTBE), 톨루엔, 자일렌(o-, m-, p- 포함)
석유화학계 기초화학물질 제조업, 합성고무 제조업, 합성수지 및 기타플라스틱 제조업		톨루엔, 자일렌(o-, m-, p- 포함), 나프탈렌
제철업 및 제강업		입자상물질(먼지), 망간화합물, 톨루엔, 자일렌(o-, m-, p- 포함)

[표 12] 특정대기유해물질

1	카드뮴 및 그 화합물	13	염화비닐	25	1,3-부타디엔
2	시안화수소	14	다이옥신	26	다환 방향족 탄화수소류
3	납 및 그 화합물	15	페놀 및 그 화합물	27	에틸렌옥사이드
4	폴리염화비페닐	16	베릴륨 및 그 화합물	28	디클로로메탄
5	크롬 및 그 화합물	17	벤젠	29	스틸렌
6	비스 및 그 화합물	18	사염화탄소	30	테트라클로로에틸렌
7	수은 및 그 화합물	19	이황화메틸	31	1,2-디클로로에탄
8	프로필렌 옥사이드	20	아닐린	32	에틸벤젠
9	염소 및 염화수소	21	클로로포름	33	트리클로로에틸렌
10	불소화물	22	포름알데히드	34	아크릴로니트릴
11	석면	23	아세트알데히드	35	히드라진
12	니켈 및 그 화합물	24	벤지딘		

- 환경부의 장외영향평가 제도 도입(화학물질관리법 제23조)
 - 환경부는 2015년부터 유해화학물질 취급시설을 설치·운영하고자 하는 사업자에게 화학사고의 시나리오 선정 및 시나리오별 주변지역 영향평가와 안전성 확보 방안 등의 내용을 담은 장외영향평가서를 제출하도록 함

- 또한 사고대비물질 지정과 위해관리계획서 작성·제출 및 지역사회 고지를 의무화하였음

3) 석유화학 산업단지 주변지역 지원을 위한 제도 도입 추진

- 제19대 국회에서 2014년 4월 김선동의원 대표발의로 '석유화학국가산업단지 근로자 및 주변지역 주민 지원을 위한 특별법안'이 발의됨(통과되지 못함)
 - 이 법안에서는 환경부장관이 1년에 1회 이상 주변영향지역에 관한 환경상 영향을 조사공개하고, 정부는 산단 종사 근로자 및 지역주민의 건강영향 조사를 정기적으로 실시·공개하도록 함
 - 또한 산업통상자원부장관에게 직접 영향권 안에 있는 주민에 대한 이주 대책 마련을 의무화하고, 해당 주민에게 매수청구권을 부여함
- 제20대 국회에서 성일종의원 대표발의로 '석유화학단지 주변지역 지원에 관한 법률안'(2016.7.12.)이 발의되고, 주승용의원 대표발의로 '석유화학시설 및 석유비축시설 주변지역 지원에 관한 특별법안'(2016.7.1.)이 발의되었음
 - 성일종의원의 법안은 석유화학단지(국가산업단지와 일반산업단지) 주변지역(반경 5km 이내 읍·면·동)에 대한 지원사업계획을 수립하고 이의 시행을 위한 비용을 에너지 및 자원사업 특별회계에서 부담토록 하는 내용을 담고 있음
 - 주승용의원의 법안은 국가와 지자체로 하여금 주변지역지원사업기금을 설치하고 석유화학시설 및 석유비축시설 주변지역(5km 이내 읍·면·동)의 발전을 위한 지원시책을 수립·시행하도록 하는 내용을 담고 있으며, 지원사업시행자로 하여금 정기적으로 석유화학시설 및 석유비축시설에 대한 안전진단을 실시하고 그 결과를 공개하도록 하고 있음

● 에너지 정제/저장시설에 대한 지역자원시설세 과세 방안

- 정종필(2015)은 에너지 정제/저장시설에서 취급하는 석유류에 대해 지역자원세 과세 필요성을 주장(천연가스 취급량 1m³당 1원, 원유 및 석유제품류 취급량 1리터 당 1원)
 - 이민정(2015)은 충남 대산단지 및 보령LNG 대상으로 지역자원시설세를 부과할 경우 약 261억원의 세수가 예상되며, 이를 주변지역 지원제도에 사용하자고 제안한 바 있음
 - 또한 이민정(2015)은 에너지 및 자원사업 특별회계법을 개정하여 세출항목에 에너지 정제·저장시설 입지지역 지원에 대한 내용 추가를 제안함
- 석유화학단지 또는 석유화학시설 주변지역에 대한 지원제도가 도입된다면, 물질적·금전적 지원사업뿐만 아니라 주변지역 환경·건강 영향에 대한 측정·조사가 포함될 필요가 있을 것임
 - 현행 발전소 주변지역 지원제도에서 원자력발전소 주변지역 주민들이 직접 원전 주변지역에 대한 환경과 방사선 안전 등에 대한 감시에 참여하여 조사·확인토록 함으로써 원전의 안정성에 대한 지역주민의 신뢰와 수용성을 제고하기 위해, 민간환경감시기구 지원 사업을 실시하고 있음(연간 20억원 규모)

결론 및 설계용역 방안 제시 ◀

04

1. 결론

- 대산석유화학단지 주변지역에서 예상되는 주요 영향을 검토하기 위해서 관련 통계자료 분석과 문헌검토를 통해서 다음의 결론을 도출함
- 대기환경에 미치는 영향
 - 대산석유화학단지의 해당구역 도시대기측정망의 측정값의 장기간 추이를 보면 대기환경기준을 초과하는 횟수는 감소하고 있으나, 최근 들어 이산화질소, 오존, 미세먼지의 농도는 증가하는 추세를 보임
 - 미국항공우주국(NASA)에서 10년 동안 측정한 자료에 의하면, 특히 대산지역이 이산화질소가 전세계에서 가장 급격하게 심해진 지역으로 나타났음
 - 대기로 배출되는 발암물질 배출량의 경우, 충남 시군에서 서산시가 가장 많았고 물질 중에서는 인체에 유해한 벤젠의 배출량이 가장 많았음
 - 국립환경과학원 자료에 의하면, 벤젠 농도의 경우 환경기준 농도 이하로 조사되었지만 다른 지역의 일반 주거지점보다 농도가 높았음. 또한 톨루엔·에틸벤젠·자일렌의 경우 역시 전반적으로 높게 나와 대산지역은 산업체에서 생산·사용되는 휘발성 유기화합물이 인근 주거지역에 영향을 미치는 것으로 판단됨

- 수질 환경에 미치는 영향
 - 대산석유화학단지의 지하수 수질 및 해양수질은 환경기준을 만족하고 있으나 지하수의 경우 유류누출로 인한 토양-지하수 연계 오염, 중국에는 인근 하천 등 공공구역 오염으로까지 진행될 수 있으므로 지속적인 모니터링이 필요
 - 해양수질의 경우 현재는 2~3등급 수준을 보이긴 하나 조사 정점에 따라 결과가 달라질 수 있으므로 향후 악화 예고증상이 있을 경우 정점을 늘리는 등 정밀 모니터링을 고려해 볼 수 있음
 - 해양생물의 경우 패류(굴)에 대한 조사만 이루어졌기 때문에 추가 패류나 어류 등에 대한 조사가 필요할 것으로 판단됨. 이는 해양생물의 감소, 해양생태계의 악화, 최종적으로 인체의 건강에 까지 영향을 미칠 수 있기 때문임
- 토양환경에 미치는 영향
 - 석유화학단지에는 많은 유류 저장시설이 매우 복잡하고 광범위한 관로에 의해 연결되어 있으며 노후화와 토양 중 미생물의 활동에 의해 유류가 누출되어 토양오염을 초래할 수 있음
 - 다양한 형태의 석유탄화수소가 토양으로 들어가지만 그 중에서도 방향족 탄화수소(벤젠, 톨루엔, 크실렌과 에틸벤젠 등)는 촉매에 의해 치환반응이 발생하면서 동물과 식물에 아주 유독하기 때문에 토양환경에 심각한 영향을 줄 수 있음
 - 오염된 토양에 의해 장기적으로 지하수와 농작물이 오염될 수 있으며 먹이 사슬에 의해 최종적으로 인체의 건강까지 영향을 미칠 수 있음
- 자연환경, 취락경관에 미치는 영향
 - 산업단지가 조성되면서 유해대기오염물질 및 산성강하물은 장기적으로 토양을 오염시키고 생태계를 파괴하는 것으로 알려져 있음
 - 환경부에서 환경오염에 따른 생태계 변화를 추적한 자료에 의하면, 산단지

역 주변에서 황산화물 등의 가스에 의해 식물 잎의 변색, 엽내 오염물질함량의 축적, 종변화 등 산림생태계에 전반적으로 악영향을 미치고 있는 것으로 나타났음

- 대산석유화학단지가 개발되면서 지역의 경관 변화에 미친 영향으로는 해안선이 단순화되었으며, 북부는 2차 산업, 남부는 3차 산업, 서부·동부는 1차 산업과 관련된 경관으로 구분되는 특성을 가지게 됨

● 인체 건강에 미치는 영향

- 석유화학단지에서 배출되는 휘발성유기화합물(VOCs)과 질소산화물(NOx)이 전구물질로 작용해서 생성된 오존(O₃)물질에 의해 천식 등 호흡기계 질환과 폐질환, 심혈관계 질환의 유병률과 증상 악화에 영향을 미칠 수 있음
- 특히 서산시에서 가장 많이 배출되는 발암물질인 벤젠의 경우, 낮은 농도의 만성적인 노출에 의해서도 백혈병, 림프조혈계암 등을 일으키는 것으로 나타나 이에 대한 건강피해 우려가 있음
- 국립환경과학원(2012년)에서 대산지역을 대상으로 휘발성유기화합물의 위해성 평가 결과, 1,2-디클로로에탄, 벤젠의 발암 위해도는 자연발생발암위해도 수준을 나타내는 허용위해도를 초과하는 것으로 나타났음
- 석유화학단지 주변지역 주민 1, 358명을 대상으로 자각증상과 질병상태를 조사한 연구(2007년)에 의하면, 농어촌 지역주민에 비해 통계적으로 유의한 차이로 호소한 자각증상은 두통, 메스꺼움, 목구멍이 아픈 현상, 가슴에서 “씩씩”거리는 소리가 발생하는 천명현상인 것으로 분석됨. 악취발생을 느꼈다고 응답한 주민들의 가족들 중에서 천식발생은 15.4%, 호흡기계질환 발생은 12.4%, 신경계질환 발생은 9.1%, 피부질환발생은 27.8%로 농어촌지역에 비해 통계적으로 유의한 수준으로 높았음

● 석유화학 산업단지 주변지역 지원을 위한 제도 도입 추진

- 제20대 국회에서 성일종의원 대표발의로 ‘석유화학단지 주변지역 지원에 관한 법률안’(2016.7.12.)이 발의됨. 이 법안은 석유화학단지(국가산업단지와 일반산업단지) 주변지역(반경 5 km 이내 읍·면·동)에 대한 지원사업계획을 수립하고 이의 시행을 위한 비용을 에너지 및 자원사업 특별회계에서 부담토록 하는 내용임
- 정종필(2015)은 에너지 경제/저장시설에서 취급하는 석유류에 대해 지역자원세 과세 필요성을 주장했고, 이민정(2015)은 충남 대산단지 및 보령 LNG 대상으로 지역자원시설세를 부과하고 에너지 및 자원사업 특별회계법을 개정하여 세출항목에 에너지 경제/저장시설 입지지역 지원에 대한 내용을 추가 제안함
- 석유화학단지 또는 석유화학시설 주변지역에 대한 지원제도가 도입되면, 물질적 지원 사업뿐만 아니라 주변지역 환경·건강 영향에 대한 측정조사가 포함될 필요가 있음

2. 설계용역 방안 제시

1) 1994년 시행된 환경영향조사연구 개요

- 1994년에 '대산공단공해방지대책협의회'에서 사업수행기관을 선정하여 '대산3사 주변 환경영향 조사연구'를 진행함

- ① 연구 기간 : 1993년~1994년
- ② 연구 대상지역 : 대산 3사 주변지역인 대죽리, 독곶리
- ③ 연구 범위
 - 대기모델링 분석
 - 대기 및 악취
 - 소음
 - 수질
 - 폐기물
 - 토양
 - 해양생태계
 - 인체피해역학조사
 - 농작물조사
 - 산림조사
 - 오염피해영향권 및 피해기여도 분석
- ④ 연구결과에 따른 제언
 - 생산시설과 방지사설의 개선·보완을 통한 오염물질 배출의 최소화가 요청됨
 - 대기오염을 줄일 수 있도록 연료를 저공해연료로 전환
 - 악취유발물질 농도 규제하는 방향
 - 불완전하게 처리된 폐수가 방류되지 않도록 집수조를 갖추는 방식
 - 향후 확장되는 설비들을 고려하여 총량규제를 시범적으로 실시
 - 질소산화물의 농도에 대한 오염원별 기여도는 각각 비슷한 양상을 보인 반면, 황산화물과 공정누출 오염물질의 경우는 대체적으로 현대정유

가 지역별로 45% 상회하는 오염기여도를 나타냈음

- 산림지역에 대한 각 회사별 평균 피해기여도는 현대정유가 44.8%, 현대석유화학이 22.6%, 삼성중합화학이 5.8%로서 회사별로 큰 차이를 보였음
- 공장인접가구의 이주대책 강구

2) 향후 실시할 환경영향조사 연구 방안

- 대산석유화학단지 조성 이후 여건변화에 따른 주변지역 환경 및 주민건강영향, 법·제도 등의 문헌검토와 통계자료 분석 등을 근거로 하여 향후 실시할 환경영향조사 방안을 제시하면 다음과 같음

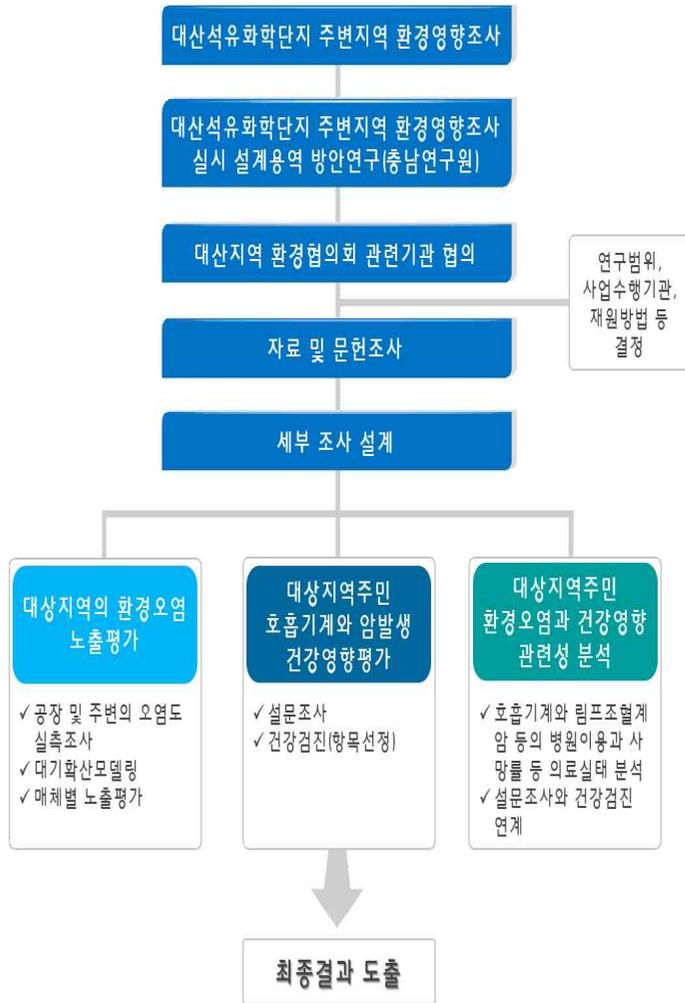
가. 환경영향조사 목적

- 대산석유화학단지 주변의 오염물질 배출실태와 오염도 현황 조사
- 환경오염에 의한 인체건강 등에 대한 피해 여부의 평가

나. 환경영향조사 대상 지역

- 대산석유화학단지를 중심으로 1안)5 km, 2안)10 km 반경의 대산읍
- 추후 대기오염물질에 의한 영향권역을 파악하기 위해 바람의 방향, 지형 등을 고려하는 대기모델링과 예산 등을 통해 주거지와 작업장의 영향 범위를 결정

다. 환경영향조사 연구 흐름도



라. 연차별 환경영향조사(우선순위)

- 대상지역은 일반산업단지, 대규모 석유화학단지가 형성되어 있어 화학물질로 인한 대기오염이 우려되는 지역임
- 특히 석유류를 취급하므로 휘발성유기화합물(VOCs)를 포함한 각종유기오염물질의 배출량이 많은 것으로 알려져 있어 이를 통해 주민생활불편과 건강피해 우려가 대두되고 있음
- 대기·수질·토양·자연환경·해양수생태 분야 등의 환경 오염도를 측정하고 다매체 노출평가를 통해 건강영향을 고려하는 것이 가장 바람직하지만, 연구기간·예산 등을 고려해 볼 때 우선 실험적 자료 및 역학적 자료 축적이 비교적 많은 대기오염에 국한하여 인체건강피해조사를 진행할 필요가 있음



* 연구비는 대상지역 5 km 반경으로 산정하였고, 대상지역 범위와 측정항목에 따라 변동될 수 있음

◆ 참고자료 ◆

마. 재원 조달 방안

- 최근 들어 석유화학 산업단지 주변지역 지원을 위한 제도 도입에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 20대 국회에서는 관련된 법안을 성일종의원과 주승용의원이 각각 발의한 상태임
- 향후 석유화학단지 또는 주변지역(반경 5 km 이내 읍·면·동)에 대한 지원제도가 도입된다면, 이 기금을 통해 주변지역의 환경·건강 영향에 대한 측정조사가 이루어지는 것이 가장 바람직함
- 그러나 제19대 국회에서 김선동의원이 대표발의 했으나 통과되지 못하고 제20대 국회에서 다시 발의된 것과 여러 이해관계가 겹목되어 있는 사안임을 감안할 때 제도가 도입되기까지 시간이 걸릴 것으로 판단됨
- 여건변화에 따른 대산석유화학단지 주변지역의 환경영향조사의 필요성에 대한 주민들의 공감대가 형성되어 있는 상황에서 제도가 도입되기까지 기다리는 것은 신뢰성 등 문제가 생길 수 있음
- 따라서 재원 조달에 대한 다음의 안을 제안함
 - : 1안)원인자부담의 원칙에 근거하여 대산석유화학단지업체(100%)
 - : 2안)도비(10%), 시비(30%), 대산석유화학단지업체(60%)
 - : 3안)도비(25%), 시비(25%), 대산석유화학단지업체(50%)

- 고동희, 석유화학단지 근로자의 림프조혈계암 사망률(박사학위 논문), 2007, 연세대학교.
- 국립환경과학원, 국가장기생태연구(2004~2013).
- 김선동의원 대표발의, 석유화학국가산업단지 근로자 및 주변지역 주민 지원을 위한 특별법안, 2014.4.4.
- 배은영, 석유화학단지 주변토양으로부터 유류분해 미생물의 분리 및 오염토양에서 적용(박사학위 논문), 2005, 여수대학교.
- 산업통상자원부, 2016년 예산 및 기금운용계획 사업설명자료(전력산업기반기금), 2015.
- 성일종의원 대표발의, 석유화학단지 주변지역 지원에 관한 법률안, 2016.7.12.
- 송해중 외 5명, 충남지역 대기중 오존(O₃)의 특성 연구, 충남보건환경연구원보, 2013;23:47~63.
- 오만택, 충남 서산지역 고농도 오존발생 특성에 관한 연구(박사학위), 2015, 서울시립대학교.
- 이민정, 충남도 에너지 정제·저장시설 입지지역 지원방안, 2016, 충남연구원 충남리포트 제214호
- 이진현, 강희숙, 김병빈, 석유화학공단과 화력발전소 주변지역 주민들이 인식하는 악취발생과 건강영향의 관련성 연구, 한국환경보건학회지, 2007;33(2):83~91.
- 이진홍, 김윤신, 남병현, 석유화학단지의 휘발성 유기화합물에 대한 확률론적 위험도 평가, 대한환경공학회지, 1998;20(6):841~850.
- 이체순, 울산지역 석유화학공업단지의 안전관리 대책에 관한 연구:재해발생 현황분석을 중심으로(박사학위 논문), 2001, 울산대학교.
- 정석호와 진중현, 석유화학단지의 개발에 따른 대산읍의 토지이용과 취락경관의 변화, 한국사지리학회지, 2014;24(4):171-181.
- 정종필, 석유화학단지 주변지역 지원법률 제정을 위한 정책토론회 자료, 2015, 서산

시청

주승용의원 대표발의, 석유화학시설 및 석유비축시설 주변지역 지원에 관한 특별법
안, 2016.7.1.

주현수, 화학물질 누출사고의 위해성 평가를 통한 산업단지 환경영향평가 개선방안
연구, 2013, 한국환경정책·평가연구원

환경부, 화학사고 대비·대응 정책방향 발표, 2013

한국환경정책·평가연구원, 산업단지 환경영향평가서 작성 및 검토매뉴얼, 2015.

최상준과 김원, 여수국가산업단지 석유화학산업 근로자들의 벤젠 노출 실태와 관리
대책, 한국산업위생학회지, 2007;17(4):310-321.

Bates and Sizto, Environmental epidemiology: Exposure and Disease, 1983.

Keith, Lawrence H. and Walker, Mary M., EPA's Clean Air Act Air Toxics
Database Vol. IV—Medical Signs and Symptoms of Exposure Manual,
Lewis Pub., 1993.

U.S.EPA, "Underground storage tank: technical requirements", 1992.

에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr>)

한국석유화학협회(<http://www.kpia.or.kr>)

화학물질배출이동량정보시스템(<http://ncis.nier.go.kr/triopen>)