

대기오염 저감을 통한 인천항의 Green Port 전략

한철환*

Green Port Strategies for Reducing Air Pollution in Port of Incheon

Chulhwan Han

Abstract : In the energy-climate era, pollution emissions from port activities have a significant issue in international shipping and port community. Thus international organization such as IMO and developed countries are seeking to develop various reduction strategies against air pollution. However Korea has recently conducted several studies concerning air pollution in port industry. The main purpose of the paper is to suggest emission reduction strategies for bulk terminal in Port of Incheon, which handles large amount bulk cargoes as a gateway for the metropolitan area. For this aim, the clean air strategies of the world major ports were considered and air pollution reduction strategies were suggested. The main findings of this paper are as follows. First, the emission reduction strategies for container terminal are should be integrated based on technologies changes, operational changes and market-based measures. Second, the emission reduction strategies for bulk terminal can be effective when use innovative measures during loading, unloading and storage process such as telescopic cascade trimming chute, snake sandwich equipment, dry fog system and dome structure. Finally, investigation on actual conditions of air pollution in Korean ports and development of environmental evaluation scheme for persisting monitoring should be conducted.

Key Words : Green Port, Air Pollution, Bulk Terminal, Port of Incheon

▷ 논문접수: 2011.01.11 ▷ 심사완료: 2011.03.24 ▷ 게재확정: 2011.03.25

* 동서대학교 국제학부 교수, chhan16@dongseo.ac.kr, (051)320-1608

I. 서론

미국의 저명한 칼럼리스트인 토마스 프리드먼은 21세기를 에너지기후시대라고 명명하고, 지구온난화와 같은 기후변화에 따른 대응, 화석연료를 대체할 청정에너지 개발, IT와 에너지기술(ET)을 결합한 에너지 인터넷을 미래 국가생존전략의 핵심 키워드로 제시하면서 새로운 국력창출의 원동력으로 녹색혁명(Green Revolution)을 주창하였다(토머스 프리드먼, 2008). 우리나라도 이명박 정부가 들어서면서 녹색성장(Green Growth)을 국정과제로 선정하여 환경뿐만 아니라 새로운 일자리 창출과 미래 성장동력 산업 확충, 기업 경쟁력과 국토개조 및 생활혁명을 주도하는 종합적인 국가비전을 제시하고 있다. MB노믹스의 핵심인 녹색성장 전략이란 신재생 에너지기술, 에너지 및 자원효율화 기술, 환경오염 저감기술 등의 녹색기술을 기반으로 한 녹색산업을 미래의 신성장 동력으로 선정하고 전반적인 국민의 삶의 질을 향상시키는 동시에 기후변화에 대처하기 위한 국제사회 노력에 능동적으로 기여하는 새로운 국가발전전략이라고 할 수 있다. 이를 위해 2020년까지 세계 7대, 2050년까지 세계 5대의 녹색강국 진입이라는 비전 아래 3대 전략과 10대 정책방향을 제시한 바 있다. 이 같은 녹색혁명의 바람은 해운항만산업도 예외가 아니다. 국제교역의 자유화 및 글로벌화의 진전에 따라 해상운송의 역할은 향후에도 증대될 전망이다. 이에 따른 선박운항의 증가는 필연적으로 선박으로부터 배출되는 대기오염을 증가시켜 지구온난화 및 항만과 인접한 지역주민들에게 심각한 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 항만활동과 관련된 트레일러, 하역장비, 선박 등에서 발생하는 디젤 배기가스는 항만근로자뿐만 아니라 항만과 인접한 지역민들의 공중보건 및 생활환경에 상당한 악영향을 미쳐 지역민과 환경단체 등으로부터 많은 민원을 야기하고 있는 실정이다(송계의·한철환, 2007). 디젤 배기가스로부터 발생하는 주요 대기 오염원으로는 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 디젤분진(PM), 휘발성유기화합물(VOC), 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC) 그리고 온실가스(GHG) 등이 있다(물류혁신네트워킹연구소, 2009). 이처럼 최근 선박 및 항만활동에서 발생하는 대기오염 문제가 심각해짐에 따라 세계 주요 항만들은 항만에서 기인하는 대기오염 문제 해결을 위해 다양한 노력을 경주하고 있다. 특히 선박에서 발생하는 대기오염을 규제하기 위한 국제규제로써 국제해사기구(IMO)는 대기오염방지협약(MARPOL Annex VI)을 시행해 오고 있다. 세계적인 환경오염 규제에 따라 주요 환경선진국들 또한 국제기준보다 높은 배출기준을 설정하는 등 선박 및 항만에서 발생하는 환경오염에 대한 규제가 점차 강화되고 있는 추세이다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 경우 환경오염 방지 노력은 주로 육상에서 기인하는 오염원에 대한 규제에 초점을 맞추어 온 반면, 선박이나 항만에서 발생하는 환경오염 및 저감방안에 대한 문제는 비교적 최근 들어서 연구가 이루어지고

있는 실정이다. 더구나 최근 급격한 성장을 보이고 있는 중국 항만들을 비롯한 주변 항만들과의 치열한 경쟁에서 국내 항만들이 지속가능한 경쟁력을 확보해 나가기 위해서도 차별화된 Green Port 전략의 필요성은 그 어느 때보다 절실한 상황이다. 특히 인천지역의 경우 2008년 기준 평균 미세먼지 농도가 m^3 당 $57\mu g$ (마이크로그램)으로 전국 7대 도시 가운데 가장 높아 5년 연속 전국 최악의 대기오염을 기록한 바 있다. 이러한 인천지역의 미세먼지의 발생원으로는 자동차의 배기가스, 경제자유구역과 같은 대규모 택지개발사업, 그리고 고철부두를 비롯한 인천항 재래부두에서의 하역작업 등이 지적되고 있다(동아일보, (2009.10.13)). 따라서 환경친화적 항만운영은 지역민들의 보건뿐만 아니라 대기오염 저감, 에너지 효율 그리고 항만의 브랜드가치 제고라는 측면에서 시급한 과제이다. 이에 본 연구는 항만활동으로 인해 발생하는 대기오염원과 인천항의 환경오염 실태 및 현황을 조사하고 세계 주요항만에서 시행되고 있거나 향후 도입될 예정으로 있는 청정대기 전략을 검토함으로써 인천항에 대한 시사점을 도출하고자 한다. 특히 기존의 항만 대기오염 관련 정책과 연구들이 주로 컨테이너 항만들을 대상으로 이루어지고 있다는 점에서 본 연구는 인천항의 대기오염 저감방안을 컨테이너터미널과 벌크터미널로 구분하여 제시함으로써 기존 연구와의 차별성을 확보하고자 한다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다. 우선 제2장에서는 항만과 관련한 대기오염문제에 대한 국내외 문헌들을 고찰한 후 제3장에서 인천항의 시설 및 화물처리 현황, 그리고 대기오염 실태 및 관리현황을 검토해 보고자 한다. 이어 제4장에서는 선진국의 주요항만에 의한 대기오염 저감방안의 사례를 고찰하고 이를 토대로 제5장에서 인천항 대기오염 저감방안에 대한 Green Port 전략을 컨테이너 터미널과 벌크터미널로 구분하여 제시하고자 한다. 마지막으로 제6장에서는 환경친화적 항만관리를 위한 정책적 대안을 제시하면서 결론에 대신하고자 한다.

II. 기존문헌 고찰

1. 국내연구

항만의 환경오염에 관한 국내연구는 그동안 환경친화적 항만관리 방향에 관한 법·제도적 측면에서 원론적 연구가 주류를 이루어 왔다. 최동현 외(2000)는 마산항의 오염실태를 폐기물, 수질, 선박기인 오염 측면에서 조사한 후 오염원별 관리방안 및 항만오염물질의 총량규제 제도 도입을 주장하였다. 이어 최동현 외(2001)는 항만의 계획, 건설, 운용 전 단계에서의 올바른 환경관리를 통한 환경친화적 항만정책의 실효성을 확보하고 항만기본계획과 별도로 항만환경계획의 수립을 제안하였다. 정봉민 외(2004)는 컨

테이너항만 개발 시 발생하는 환경문제의 외부비용을 평가하기 위한 방법론들을 미국 항만을 대상으로 제시하였다. 또한 박노경(2004)은 유럽과 선진국 학자들에 의해서 개발된 항만의 환경관리를 위한 자기진단방법(Self Diagnosis Methodology)을 국내 항만을 대상으로 적용함으로써 항만별 환경관리실태를 제시하였다. 그 외 한국해양수산개발원(2005)은 최근 부각되고 있는 항만의 대기오염 규제에 대한 국제기구 및 주요국들의 대응 동향을 소개하고 있다. 송계의·한철환(2007)은 세계 주요 항만의 환경오염 실태와 각국의 항만 환경오염 저감방안 등을 고찰함으로써 국내 항만에 대한 시사점을 제시하였다. 박명섭 외 2인(2009)은 선박기인 대기오염 규제를 위한 국제규범에 관한 연구를 통하여 대기오염관련 국제기구의 최신동향과 국내의 수용실태 상황을 고찰하였다. 정봉현(2009)은 광양항을 사례로 항만의 수송수요와 환경실태를 분석하고 친환경 항만정책의 방향을 제도적 정성적인 입장에서 정리하였다. 임중섭(2010) 역시 국제기구와 선진국들의 그린포트 구축을 위한 친환경 규제내용을 문헌연구를 통해 제시한 바 있다. 조동오(2010)는 항만의 환경친화적 운영에 따른 비용부담정책을 직접개입, 직접규제, 경제적 유인책 세 가지 수단을 이용하여 로스엔젤레스/롱비치항과 부산항의 대기오염을 저감하는 비용분담 대상자를 비교분석하고 그에 따른 지속가능한 항만운영을 위한 시사점을 제시하였다.

이상에서 살펴 본 기존 국내 문헌들은 다음과 같은 한계점을 가지고 있는 것으로 판단된다. 첫째, 기존 국내 문헌들은 주로 국내 항만들의 체계적인 환경친화적 항만관리가 크게 부족한 점을 지적하면서, 향후 이를 시정하기 위한 방안으로 법·제도적 측면에서의 보완점을 제시하는데 연구의 초점을 맞추고 있다는 점이다. 둘째, 특정 항만(마산항, 인천항, 광양항)이나 외국 사례의 사례를 단순히 소개하고 있는데 그쳐 국내 항만의 환경오염 실태 분석 및 항만운영 측면에서의 환경오염 저감방안에 대한 구체성이 떨어지고 있다는 점을 들 수 있다. 셋째, 대부분이 컨테이너항만을 대상으로 친환경적 이 항만운영 및 관리전략을 제시하고 있어 상대적으로 기피화물로 인식되고 있는 벌크 터미널에 대한 환경오염 저감방안에 대한 연구는 아직까지 없는 실정이다.

2. 해외연구

항만의 환경오염과 관련된 해외연구로 먼저 미국항만협회(2001)는 120여개의 미국 항만들에서 사용되고 있는 혁신적이고 비용효과적인 환경보전방안들을 사례연구를 통해 제시함으로써 미국항만들의 환경관리에 대한 관심이 지대함을 보여 주었다. Gallagher & Talyor(2003)는 미국 해운산업의 대기오염 배출에 따른 경제적 비용을 실증분석을 통해 분석하였고, Darbra 외(2004)는 항만에 있어서 환경관리 성과의 평가모형으로서 자기진단방법(SDM)을 소개하였다. Bailey와 Solomon (2004)은 항만에서 발

생하는 대기오염의 발생원인, 인체에 미치는 피해실태 및 항만관리자의 대응방안을 문헌연구를 통해 고찰하였다. 한편 Bin Lin 외 (2005)는 대만의 항만들을 대상으로 선박기인 대기오염 저감을 위한 IMO협약 준수이행을 위한 효과적인 대응방안을 제시하였다. 이상에서 살펴 본 바와 같이 기존 해외연구들은 주로 환경분야 전문가들이 발간한 소수의 논문들이 있을 뿐 아직까지 항만물류전문가들에 의한 체계적인 분석은 미미한 실정이었다. 그러나 항만에서 발생하는 환경오염 문제에 관한 연구에 있어서 일대 전환점이 된 것은 미국 천연자원보호협회(NRDC)와 캘리포니아청정대기연합회(CCCA)가 2004년에 미국 10대 항만의 오염실태를 조사 분석한 보고서를 발표하면서 시작되었다(NRDC, 2004.3). 기존 해외연구들은 주요 국제해사기구의 협약과 관련된 선박에서 발생하는 환경오염 문제를 연구대상으로 삼았거나 항만의 환경친화적 관리방안에 대한 사례연구들이 대부분이었으나 NRDC와 CCCA의 보고서는 미국 주요 10대 항만을 대상으로 대기 및 수질오염 실태를 분석함은 물론, 각 항만별 등급을 공표함으로써 업계 및 지역민들의 큰 반향을 일으켰다. 이어 발표된 후속보고서에서 NRDC와 CCCA는 항만운영에 따른 대기 및 수질오염, 항만에서 토지이용에 따른 환경문제, 항만커뮤니티와의 관계 등을 제시함은 물론 항만의 환경오염 저감을 위한 다양한 기술적 대안들을 제시하였다(NRDC, 2004.8). 비교적 최근 연구로는 ICCT(2007)가 원양항해 선박에서 발생하는 대기오염과 온실가스의 배출실태, 국제적인 규제 동향 그리고 선박에서 발생하는 배기가스 저감방안을 기술적 측면, 운영적 측면, 시장기반 프로그램 세 가지 범주로 분류하여 제시한 바 있다. 한편 Tzannatos(2009)가 그리스 Piraeus항을 대상으로 정박 중인 선박의 대기오염을 줄이기 위한 방안인 육상전원공급장치와 저유황연료 사용이라는 두 가지 방안에 대한 비용효과분석을 실시하였다. 그 결과 육상전원공급장치의 전반적 비용이 저유황연료를 사용하는 방안에 비해 약 25%의 비용절감효과가 있는 것으로 나타났다. 종합적으로 볼 때 해운항만산업의 대기오염 저감방안에 대한 해외 연구동향은 초기의 국제적인 규제동향이나 각국의 저감방안 사례연구 중심에서 최근 들어서는 개별항만을 대상으로 보다 실증적인 연구가 증가하고 있는 추세이다.

Ⅲ. 인천항의 대기오염 실태와 관리현황

1. 인천항 시설현황

인천항은 1883년 국제 무역항으로 개항한 이래 120여년의 역사를 가지고 있으며 현재는 78개 선석을 갖추고 연간 1억 3천만 톤 수준의 화물을 처리하고 있는 수도권의 중심항이다. 인천항은 갑문 내의 내항과 갑문 밖의 외항으로 구성되며, 외항은 위치와

기능에 따라 남항, 북항, 연안부두 및 석탄부두로 구분된다.

(1) 내항

내항은 8개의 수출입 화물부두를 운영하고 있으며 제1·2·3·6부두는 잡화취급 부두, 제4·5부두는 컨테이너 및 자동차 전용부두, 제7부두는 양곡전용부두, 제8부두는 고철전용부두로 운영되고 있다. 현재 내항의 공해성 화물로 지적되던 사료부원료, 원목, 철재 등은 부두기능 재정립차원에서 북항으로 이전이 추진되고 있다. 제1·2·3부두는 일반부두로 철재, 원목, 사료부원료, 잡화 등 다양한 화물을 취급하고 있다. 제4부두는 컨테이너, 양곡, 잡화 등을 처리하고 있는 부두로 5척의 접안능력을 갖추고 있다. 제5부두는 자동차 전용부두로 5만톤급 4척의 접안능력을 갖춘 부두이다. 제6부두는 월미도와 인접한 부두로 분진이나 오물을 발생시키지 않는 청정화물을 취급하는 부두로 5만톤급 3척의 접안능력을 갖춘 부두이다. 제7부두는 4기의 양곡 언로더 및 벨트 컨베이어 시설을 갖춘 부두로 주위에 75만톤의 수용능력을 가진 사이로 시설이 있어 우리나라 양곡 수입량의 약 70%를 취급하고 있다. 제8부두는 고철과 소금, 원당 등 산물부두로 고철용 언로더 3기, 산물용 언로더 2기가 설치되어 있고, 3척의 접안능력을 갖춘 부두이다.

<표 1> 인천항 내항 부두시설 현황 및 재정립계획

부 두	1부두	2부두	3부두	4부두	5부두	6부두	7부두	8부두
안벽길이(m)	1,799	1,278	1,250	1,160	1,150	1,018	1,485	910
수심(m)	8.2~11.8	8.7~11.2	8.3~11.4	11~11.5	12.5	12.5	11.5~11.8	11.5
접안능력 (천톤x선석수)	10선석 (50x1, 4.5x4, 35x2, 2x3)	7선석 (30x1, 20x2, 8x5)	7선석 (20x1, 10x2, 8x4)	5선석 (50x1, 40x1, 30x1, 20x1, 10x1)	4선석 (50x4)	5선석 (50x1, 30x2, 5x2)	5선석 (50x4, 20x1)	3선석 (50x3)
야적장(㎡)	155,254	75,873	57,670	305,516	177,731	103,549	8,348	111,273
하역능력(년)	4,601천톤	4,229천톤	3,322천톤	8,182천톤	3,920천톤	3,890천톤	4,787천톤	3,647천톤
재정립 계획	원목 및 사료부원료 북항이전	원목, 사료부원료(일부) 북항이전, 집화 및 철재부두로 특화	양곡부두 계속사용	양곡부두 특화	양곡부두 특화	잡화부두 기능특화	잡화 및 양곡전용 부두 특화	가공목재 부두 특화

자료: 인천항만공사 내부자료

현재 내항은 공해성 화물처리로 인한 환경문제와 도시기능의 저해, 화물 혼재처리로 인한 항만운영의 효율성 저하, 배후 도심 통과로 인한 교통체증 증가, 갑문 통과에 따른 체선·체화 현상 등이 주요 문제점으로 지적되고 있다. 인천항만공사는 이를 해결하기 위하여 청정화물처리 위주로 전환하고 유희부두 및 시설물을 도시기능과 연계한 친

수시설을 도입할 계획으로 있다. 현재 내항의 8부두의 목재부두 기능과 2·8부두의 철재부두 기능을 북항으로 이전이 진행 중에 있으며 일부는 이미 이전이 완료된 상태이다. <표 2>는 목재부두와 철재부두의 이전 세부 현황이다.

<표 2> 철재부두 및 목재부두 북항 이전 현황

구 분	항 명	부 두 명	접안능력		부두길이 (m)	하역능력 (천톤)
			선박(톤)	선석수		
목재부두	내항	8부두	50,000	1	270	1,040
	북항	북항목재부두	20,000	2	450	1,248
철재부두	내항	2부두	50,000	3	626	3,992
		8부두	50,000	1	360	1,663
	북항	현대제철부두	50,000	2	560	3,326
		동국제강부두	50,000	1	270	1,663

자료: 인천항만공사, 인천항 주요 통계자료(내부자료), 2009.

(2) 외항

인천항 외항은 인천항 갑문 밖의 시설을 총칭하는 것으로 남항, 북항, 연안항, 남외항으로 구분된다. 북항은 유류, 원목 등 배후산업단지에서 필요로 하는 원자재들을 수입하는 산업항으로서의 역할을 담당하기 위해 현재 개발이 진행되고 있다.

<표 3> 북항 시설 현황

명 칭	부두길이(m)	수심(m)	동시접안능력(DWT,척)	주요취급화물
한진돌핀	240	10	20,000(1)	유류
인천정유제1부두돌핀	240	16	75,000(1)	원유, 정제유
인천정유제2부두돌핀	390	14	60,000(1)	정제유, 케미칼
인천정유제3부두돌핀	485	15	100,000(1)	원유, 정제유
대한항공돌핀	315	17	50,000(1)	유류
동부다목적부두	849	14	50,000(3)	-
현대제철철재부두	560	14	50,000(2)	철재
동국제강고철부두	270	14	50,000(1)	철재
목재부두	450	11	20,000(2)	목재

자료: 인천지방해양항만청 내부자료

2011년까지 총 17개 선석의 개발이 완료되면 현재 내항에서 처리되고 있는 원목, 고철, 사료용 부원료 등 공해성화물을 북항으로 이전하는 방안을 계획하고 있다. 현재 북항에는 GS 칼텍스 정유돌핀을 포함하여 6개의 유류 돌핀이 운영 중에 있다.

남항은 연안화물선과 바지선 등 중소형 화물선의 화물을 주로 처리하는 곳으로 현재

5선석의 컨테이너 부두와 1선석의 다목적 부두로 구성되어 있다. 이외에 석탄부두와 남향 모래부두가 있는데 석탄부두는 하역 및 운송과정에서 발생하는 분진으로 민원이 지속적으로 제기되고 있는 상황이다. 상시적으로 발생하는 민원을 고려하여 높이 17m, 길이 약 1km에 달하는 석탄분진 차단 방진망이 설치되어 있으나 석탄가루는 눈에 보이지 않을 정도로 미세하고 가벼워 차량운행 시 매연과 함께 고공으로 비산하여 하루에도 여러 차례 살수가 필요한 상황이다. 그러나 석탄은 살수된 물기를 오래 머금지 않고 쉽게 증발되기 때문에 2중, 3중의 방진망 설치가 최우선이라는 판단 하에 분진 차단시설 정비계획을 수립·추진 중에 있다.

2. 인천항 화물처리 현황

2010년 인천항의 총화물처리량은 약 1억 4,900만 톤으로 2009년 세계경제위기에 따른 일시적 물동량 감소 추세를 벗어난 상태이다. 품목별 처리량은 2000년대 들어 현재까지 모래, 석유가스 및 기타가스, 석유제품, 철강 및 그 부품, 양곡 등의 순이다. 인천항의 컨테이너 처리실적은 2009년 미국발 금융위기의 여파로 전년대비 7.4% 감소한 157만 TEU였으나 2010년에는 전년대비 20.6% 증가한 190만TEU를 처리하여 세계경제위기의 여파를 확실히 벗어난 것으로 보인다(<표 4> 참조).

<표 4> 인천항 품목별 물동량

연 도	2005	2006	2007	2008	2009	2010
고철	1,199,946	556,711	341,270	532,123	256,083	344,856
기계류 및 그 부품	641,403	828,615	1,107,484	1,255,043	1,310,463	1,715,733
기타 광석 및 생산품	3,930,643	3,649,523	3,566,086	3,495,076	2,758,425	3,827,426
기타 동, 식물 생산품	2,340,575	2,220,016	1,759,983	2,325,483	2,591,580	3,411,619
당류	1,144,752	1,198,454	1,135,487	1,226,947	789,489	1,061,415
동식물성 유지류	209,824	265,162	259,153	237,307	201,004	255,950
모래	16,900,384	15,697,672	17,377,894	20,852,630	14,411,845	20,235,432
목재, 목탄, 코르크	2,257,422	1,686,712	1,645,868	1,189,076	1,147,215	1,485,451
무연탄	1,115,609	1,135,246	1,771,338	2,137,085	946,938	1,166,107
방직용 섬유 및 그 제품	8,103,494	11,028,930	13,533,764	13,047,213	8,463,510	12,211,829
비료	275,210	252,043	309,985	318,125	230,436	307,946
비철금속 및 그 제품	677,729	1,482,217	1,432,245	1,134,057	710,266	913,165
석유 정제품	16,187,715	18,206,240	15,012,886	12,434,309	11,891,755	15,530,857
석유가스 및 기타가스	19,357,548	22,002,365	21,476,085	25,076,104	18,867,202	27,163,710
시멘트	3,935,361	4,160,696	3,545,598	3,735,159	2,737,825	3,833,125
양곡	6,620,977	7,231,787	6,905,176	6,419,543	5,084,382	6,640,920
어패류, 갑각류 등	298,972	336,721	440,793	398,435	264,245	360,442

대기오염 저감을 통한 인천항의 Green Port 전략

원목	3,128,091	2,903,173	2,753,961	2,461,626	1,688,417	2,217,238
원유(역청유), 석유	6,208,449	4,433,226	9,407,681	5,765,462	3,622,261	5,312,739
유연탄	3,264,643	3,548,710	3,422,423	6,361,308	7,125,521	10,020,960
옥 류	2,413	6,564	37,517	68,467	52,809	69,344
음료, 주류, 조제식품	1,844,661	1,461,781	1,822,783	1,795,274	1,251,577	1,604,521
전기기기 및 그 부품	1,529,246	2,444,596	2,460,297	2,637,489	3,197,656	4,351,773
제분공업생산물	425,242	261,964	611,776	468,205	161,501	273,873
차량 및 그 부품	5,329,917	4,691,407	6,507,572	6,578,240	4,228,072	5,571,194
철강 및 그 부품	8,461,526	8,132,549	9,270,886	9,322,880	6,104,911	8,029,197
철광석	10,307	38,753	35,755	39,576	46,008	58,620
플라스틱, 고무 제품	298,421	286,583	274,040	419,900	363,556	484,361
피혁류 및 그 제품	920,479	1,115,937	1,095,039	966,378	736,619	1,106,126
항공기, 선박 그 부품	1,107,138	1,538,978	1,804,275	1,900,029	1,675,834	2,292,862
화학공업생산물	1,441,834	1,787,528	1,922,020	1,841,408	1,413,200	2,001,858
기타	4,283,435	4,975,476	5,092,237	5,374,801	4,421,667	5,924,383
합계(톤)	123,453,365	129,566,335	138,139,357	141,814,758	108,752,272	149,785,032

자료 : 인천항만공사 Port-Mis, 2010

<표 4> 인천항 컨테이너 화물 물동량 추이(TEU)

연 도	전 체	외 항	내 항	증 감 율
2007년	1,663,800	1,645,626	18,174	20.80%
2008년	1,703,362	1,691,513	11,849	2.40%
2009년	1,578,003	1,541,823	36,180	-7.40%
2010년	1,902,732	1,858,263	44,468	20.6%

자료 : 인천항만공사 Port-Mis, 2010

3. 인천항 대기환경 현황 분석

우리나라의 경우 지금까지 항만에서 배출된 대기오염 물질을 직접적으로 조사·평가한 사례가 거의 전무하다.

<표 5> 비산먼지 오염도 조사결과($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

지역	2003년	2004년	2005년
파라다이스호텔	167.2	214.0	127.3
연안아파트	195.5	187.4	151.9
송현3동 사무소	133.8	152.5	131.9
송도홍보관	145.8	158.9	94.0
수도권매립지	165.7	142.0	141.3
검단출장소	-	125.9	96.3
검단2동 사무소	-	108.2	92.5
창신초등학교	-	159.4	114.1

자료 : 인천광역시 보건환경연구원, 『보건환경연구원보』, 2009

이에 본고에서는 인천광역시 보건환경연구원의 자료를 활용하여 인천항의 대기오염 실태를 간접적으로 진단해 보고자 한다. 인천광역시 보건환경연구원에서는 2003~2005년 먼지저감 종합대책과 관련하여 인천지역 총 8개 지점을 대상으로 비산먼지 오염도를 조사한 바 있다. 비산먼지 오염도 조사 지점 중 파라다이스 호텔은 인천항과 인접하여 있으며 연안아파트는 특히 모래부두와 인접하여 두 곳 모두 하역활동과 대형 운반차량의 통행이 빈번한 곳이다.

2005년 비산먼지 오염도를 지역별로 살펴보면 연안아파트가 가장 높았고, 그 다음으로 수도권매립지, 송현3동사무소, 파라다이스호텔, 창신초등학교, 검단출장소, 송도신도시 홍보관, 검단2동 사무소 순으로 나타났다. 파라다이스 호텔에서 측정된 비산먼지는 2004년 $214\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 2005년 $127.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 크게 감소하였으나 여전히 오염도가 높은 수준을 기록하고 있다. 이는 인천항내의 고철 및 사료하역 시 발생하는 비산먼지와 대형차량의 빈번한 통행에 기인하는 것으로 분석된다. 또한 연안아파트의 비산먼지는 2004년 $187.4,0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 2005년 $151.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다소 감소하였으나 측정지점 중 가장 높은 비산먼지 오염도를 나타내고 있다. 이는 이들 지역이 모래부두에 인접해 있으며 대형 화물차량의 운행이 빈번한데 따른 것으로 분석되었다(조경두·김정숙, 2009).

한편 인천광역시 보건환경연구원의 인천항 및 주변지역 대기오염 분석평가에 따르면 연도별 인천시와 인천항 입구 신흥동의 대기오염도를 비교분석해 본 결과, 미세먼지의 경우 2007년 인천시 평균($64\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해 신흥동($76\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높았고, 2008년 인천시 평균($57\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해 신흥동($71\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높게 나타난 것으로 조사되었다(인천광역시 보건환경연구원, 2010). 이산화 질소(NO_2)는 2007년 인천시 평균(31ppb)에 비해 신흥동(42ppb)이 11ppb 정도 높았고, 2008년에는 인천시 평균(30ppb)에 비해 신흥동(42ppb)이 12ppb 정도 높게 나타났다. 아황산가스(SO_2)는 2007년과 2008년 모두 신흥동지역이 인천시 평균에 비해 1ppb 정도 높은 것으로 나타나 여타지역에 비해 항만지역의 대기오염이 심각함을 간접적으로 알 수 있다.

4. 인천항의 대기오염 관리실태

인천항 대기오염의 주요인은 크게 사료부원료, 석탄 등 분진발생화물의 취급과정(하역, 보관, 운반 등)에서 발생하는 경우와 정박 중인 선박의 엔진가동에 의하여 발생하는 경우로 나눌 수 있다. 특히 인천항의 경우 벌크화물 야적에 따른 처리과정에서의 비산먼지의 발생이 대기오염의 주요 원인으로 지적되고 있다. 인천시는 대기질개선 종합계획을 통해 인천항 처리화물의 하역·보관·운반과정에서 발생하는 먼지로 인한 민원 발생을 해소하고, 화물차량에서 발생하는 배출가스 및 날림먼지로 인한 대기오염을 해

소하기 위해 인천항의 업종별 먼지저감 대책을 추진한 바 있다(인천광역시, 2005). 이후에도 매년 대기질 종합계획에서는 항만을 먼지발생 취약지역으로 정하여 집중 관리하고 있으며 먼지 저감시설 설치를 추진하고 주기적인 측정관리를 수행하고 있다.

인천항에서는 고철 하역 시 발생하는 분진 비산을 방지하기 위하여 방진망 및 집진시설, 살수차, 세륜시설 등을 설치하여 운영하고 있으나 하역 시 발생하는 비산먼지 문제를 완전히 해결하지는 못하고 있는 실정이다. 사료부두 운영사의 경우 사료부원료 전용창고를 운영하고 있지만 사료부원료의 품목이 20여 가지 이상으로 소량으로 수입될 경우 부원료가 섞이는 것을 방지하고자 부분적으로 야적하고 있다. 이처럼 창고시설을 활용하지 못하고 사료부원료를 항내에 오랫동안 방치할 경우 화물회전율이 저하되어 야적량이 증가함으로써 비산먼지가 발생하는 악순환이 되풀이되고 있다. 또한 곡물하역용 방진시설로 2009년 기준 5개 운영사에서 15개동을 설치하여 운영하고 있다.

한편 인천항에 입항하는 선박은 연간 2만여 척에 달하며 최근에는 대형선박의 입항이 증가하고 있는 추세이다. 5천톤 이상 대형선박 1척이 하루에 소비하는 경유의 양은 5톤가량으로 대형버스 70대에 달하는 분량이다. 현재 자동차 연료의 황함유량은 0.003%인 반면, 외항선박의 황함유량은 2.7%(세계평균)으로 고농도 황함유 선박에 대한 대책마련이 시급하다. 이에 저유황경유를 사용토록 규제하는 방안을 검토하고 있으나 인천항의 경제력 약화를 우려하는 목소리로 인해 시행되지 못하고 있다. 또한 선박들이 부두에 정박하고 있는 동안 사용하는 보조엔진의 연료는 가장 낮은 등급의 디젤유를 이용하기 때문에 항만 대기오염원의 주요원인으로 작용하고 있다. 이에 따라 육상에서 선박에 전기를 공급하는 시설(AMP, Alternative Maritime Power)을 검토하고 있으나 부두운영사와 선사의 시설 설치비 부담이 크다는 것이 문제로 인해 도입이 지연되고 있다. 인천항의 선박 육전시설은 관공선이나 연안여객선 등 선박규모가 작은 선박을 대상으로 인천내항 3부두, 5부두, 역무선부두, 인천항연안부두에 9개소가 설치·운영되고 있다. 그러나 대형선박은 소요전력량이 대전력이고, 전력방식이 다양하여 공급시설 인프라 구축이 어려워 현재 도입되지 못하고 있는 실정이다. 그러나 인천의 대기오염에서 항만이 점유하는 질소산화물이나 황산화물이 각각 14%, 35%를 차지하는 것을 감안하면 비산먼지뿐만 아니라 다른 대기오염물질과 관련한 저감방안 등이 시급한 것으로 판단된다.

IV. 선진 주요항만의 대기오염 저감방안

1. 주요 항만의 대기오염 저감사례

(1) 로스엔젤레스/롱비치항

미국 LA항과 LB항은 대기오염 방지를 위해 2006년 ‘산페드로만 청정대기 행동계획’을 수립하였다(Bill Sylte 외, 2010). 이것은 해당지역의 대기질을 개선하기 위한 노력과 두 항만의 향후 비전을 연계한 미국 최초의 항만관련 청정대기전략이다(Bailey and Solomon, 2004). 산페드로만 청정대기 행동계획에서 제시하고 있는 오염원별 통제방안은 다음과 같다. 첫째, 트럭과 관련하여 LA항이 2008년부터 항만을 출입하는 노후트럭을 대체하는 청정트럭프로그램을 도입하여 1989년 이전에 제작된 모든 트럭의 운행을 금지하여 항만 대기오염 수준을 2007년에 비해 70%까지 줄이는 효과를 거두었다. 둘째, 선박으로부터 배출되는 배기가스를 줄이기 위해 LA/LB항은 크게 운항 중과 정박 중인 선박의 배출량 저감방안을 이원적으로 시행하고 있다. 먼저 운항 중인 선박에 대한 규제조치로는 자발적 속도저감프로그램으로 LA/LB항을 입출항하는 선박은 20마일 해상부터 12노트로 속도를 줄여 배출가스를 줄이는 방안이다. 이와 관련 LB항은 동 프로그램에 참여하는 선박에 대해 부두접안료를 15% 감면해 주는 Green Flag Incentive Program을 운영하고 있으며, 2008년부터는 항계를 40마일로 확대하여 시행 중이다. 정박 중인 선박에서 발생하는 대기오염을 줄이기 위한 방안으로는 육상전원공급장치와 선박배기가스 흡착기, 해수세척기, 선택적촉매저감시설 등을 통한 호텔링 배출저감방안 두 가지를 시행하고 있다(Bailey and Solomon, 2004). LA항은 Alternative Marine Power라는 육상전원공급장치를 통해 세계 최초로 컨테이너선에 대한 전원공급을 시행하고 있고, LB항은 Cold Ironing이라는 이름으로 육상전원공급장치를 사용하고 있다. 이와 함께 이들 항만은 입출항 선박에 대해 황함유 0.2% 미만인 저유황연료를 사용하는 선박에 대해 인센티브를 제공하는 Vessel Main Engine Fuel Incentive Program을 시행하고 있다(한철환, 2010).

(2) 로테르담항

1994년부터 녹색인증제도(Green Award)를 시행하여 일찍부터 환경문제의 중요성을 인식해 온 로테르담 항은 최근 항만 인근 라인몬트(Rijnmond)지역의 대기질이 오는 2010년 경에는 EU 기준을 초과할 것이라는 심각한 상황에 직면하자 대기오염 개선을 위한 대책을 담은 ‘Rijnmond Air Quality Action Program’이라는 보고서를 발표하였다. 이 보고서에서 해운항만관련 주요 대응전략은 해운분야에 있어서는 기존 및 향후 EU의 환경정책 및 법안 지지, 육상전원공급장치의 도입, 배출가스통제기술의 개발과 시행을 제시하고 있다. 트럭에 대해서는 지능형 하역시스템의 도입, 환경친화적 차량의 도입 및 관련 기술개발의 촉진을 제시하고 있으며, 철도분야에 있어서는 디젤연료의 전기

연료로의 전환과 EU 배출기준 준수를 배출가스 저감방안으로 내놓고 있다(DCMR, 2006). 로테르담항의 차별화된 대기오염 전략으로는 내륙수로를 운항하는 바지선에 대한 대책과 선박에 대한 환경지수의 적용을 들 수 있다. 먼저 로테르담 항은 외항선박 뿐만 아니라 바지선에 의한 배출가스를 줄이기 위해 바지선 엔진 교체 프로그램의 시행, 바지선 속도저감프로그램 및 바지선을 위한 육상전원공급장치의 도입을 추진하고 있다. 특히 바지선을 위한 육상전원공급장치 도입을 위해 2007년부터 Maashaven지역을 대상으로 시범운영을 시행한데 이어 2008년 말까지 모든 내륙수로 바지선 선석을 대상으로 육상전원공급장치의 설치를 의무화하고 있다. 그리고 바지선의 엔진교체를 위해 보조금 프로그램을 시행하여 오는 2025년까지 청정엔진을 장착한 바지선만 항만구역 내에 입항이 가능하도록 강제화할 방침이다. 또한 로테르담항은 선급협회나 항만공사 등이 선박의 배기가스 배출정도를 검사하여 해당선박에 환경오염등급을 매긴 후 이를 인증해 줌으로써 해상운송의 청정화 및 기업의 사회적 책임을 강화하는 선박환경지수(ship environmental index)를 개발하여 시행 중이다. 이를 위해 해당 기준에 미달인 선박에 대해서는 높은 항만이용료를 부과하는 대신 기준을 준수한 선박에 대해서는 항만이용료 또는 하역료를 할인해 주는 금전적 인센티브를 제공할 계획이다(Boer and Verbraak, 2010).

(3) 고티버그항

세계 최초로 차별화된 항만이용료 제도와 육상전원공급장치를 도입한 바 있는 스웨덴 고티버그항의 그린포트전략은 다음과 같다. 먼저 환경적으로 차별화된 항만이용료 프로그램(Environmentally Differentiated Fairway Dues Program)의 시행이다. 1998년부터 시행되고 있는 이 프로그램은 오염발생이 적은 선박에 대해 입항료를 감면해 주는 시장기반형 배출가스 저감방안의 하나로 2006년까지 44척의 선박들이 통제장비를 장착하여 질소산화물(NOx)을 87%까지 줄였다(ICCT, 2007). 하지만 이 같은 프로그램을 지리적으로 확대하는데 있어서 하나의 장애요인은 항만업계의 경쟁적 특징으로 인해 항만이용료는 영업기밀로 하고 있어 요금차별화 프로그램에 요구되는 요금 투명성을 확보하기 어렵다는 점이다. 스웨덴의 사례처럼 개별 항만에서 이루어지는 현지 시장기반 프로그램은 현지에서는 상당한 효과가 있는 것이 사실이나 글로벌 차원에서의 효과는 미미하다. 따라서 이 같은 프로그램을 지리적으로 확대하여 글로벌 차원에서 시행한다면 선사들은 입항료 감면 또는 패널티라는 요인을 고려할 수밖에 없어 선박의 환경개선 기술투자에 보다 적극적으로 대응할 것이라고 기대가 된다. 둘째, 2000년부터 제지회사인 Stora Enso사와 제휴하여 Ro/Ro 터미널에 육상전원공급장치를 설치·운영 중에 있다. 또한 육상전원장치의 전원은 터미널에 설치한 풍력터빈을 통해 공급받고 있

어 SOx와 NOx를 95% 정도 줄이는 효과를 거두고 있으며 스웨덴 정부는 향후 육상전원공급시설에 사용하는 전력공급에 대한 세제면제를 검토 중이다(Greenport Journal, 2009.11). 셋째, 주요 환경정책의 일환으로 철도서틀서비스를 확충하고 있다. 특히 고텐버그항과 주요 배후지들 간에 Rail Port Terminal을 경유하는 Rail Port Scandinavia라는 시스템을 도입·운영 중이며 Rail Port Terminal에서는 통관, 보관, 서류작업을 포함한 화물처리 통합서비스를 제공함으로써 효율적인 배후연계망을 확보하고 있다.

(4) 부산항

부산항은 2009년 국토해양부가 저탄소, 친환경 녹색항만을 구축하기 위한 ‘그린 포트(Green Port)’ 방안을 수립·추진하기로 결정함에 따라 국내 항만 중 가장 선도적으로 친환경 항만구축을 위해 노력하고 있다. 부산항의 주요 그린포트 추진전략은 다음과 같다. 첫째, 컨테이너터미널 하역장비의 동력원 전환이다. 이는 기존 디젤유를 사용하는 RTGC(Rubber Tired Gantry Crane)를 전기를 사용하는 e-RTGC로 개조하는 것이다. e-RTGC 장비 교체에 투입되는 비용은 전기를 공급하는 기반시설 설치비용(2억원)과 디젤엔진에서 전기엔진으로의 장비교체비용(2억원)을 각각 부산항만공사와 터미널운영자가 부담하고 있다. 2010년까지 부산 북항에 있는 186대의 RTGC 가운데 94대를 교체하였으며 나머지 장비는 이후 교체할 예정으로 있다. 부산항만공사는 94대의 e-RTGC 교체로 연간 28,000 톤CO₂ 저감과 160억원의 연료비가 절감된다고 추정하고 있다. 또한 e-RTGC의 고장률은 RTGC의 절반밖에 되지 않고, 소음도 85dB에서 65dB으로 감소되는 것으로 추정하고 있다(조동오, 2010). 둘째, 부산항의 모든 백열등(총 22,723개)을 발광다이오드(LED)조명으로 교체를 추진 중이다. 부산항만공사는 백열등은 1단위의 에너지를 소비하여 10%의 빛과 90%의 열을 생산하는 반면, LED등은 90%의 빛과 10%의 열을 생산하는 것으로 추정되어 LED등이 백열등에 비하여 60%의 에너지 효율이 있는 것으로 추정하고 있다. 또한 LED등의 수명이 백열등보다 10배 정도 길어 이산화탄소 배출량도 크게 감축할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 셋째, 부산신항의 터미널 건물에 태양열 및 지열 등 신재생에너지를 활용하고 있다. 부산신항 2-1단계 건물의 냉난방은 150미터의 지열시스템을 이용하고 있으며, 2-2단계 및 기타 지역의 건물에는 옥상 및 창문에 설치한 태양열시스템을 이용하고 있다. 부산항만공사는 부산신항이 완료될 경우 태양열에 의한 에너지 공급이 전체 에너지의 10%에 이를 것으로 전망하고 있다. 또한 부산항만공사는 이들 신재생에너지 사용으로 연간 300 톤CO₂가 감소하는 것으로 추정하고 있다(부산항만공사, 2009).

2. 인천항에 대한 시사점

이상에서 살펴 본 선진 주요항만들이 시행하고 있는 대기오염 저감방안이 인천항에 시사하는 바는 다음과 같다. 첫째, 우선적으로 항만에서 발생하는 대기오염에 대한 실태조사와 이를 해소하기 위한 방안을 담은 종합대책수립이 필요하다. 대부분의 선진국 항만들은 항만에서 발생하는 대기오염의 실태조사는 물론, 대기오염 저감방안과 사후평가체계에 대한 체계적이고 과학적인 접근방식을 담은 청정대기전략을 수립하고 이를 토대로 대기질 개선에 노력하고 있다. 따라서 인천항도 최우선적으로 항만에서 발생하는 대기오염의 실태조사와 개선방안을 담은 마스터플랜을 수립할 필요가 있다. 둘째, 선진 주요 항만들은 대기오염을 줄이기 위해 기술적 측면, 운영적 측면, 시장기반 프로그램 도입 등을 종합적으로 추진함으로써 사업의 효과성을 극대화하고 있다. 그럼에도 불구하고 부산항을 비롯한 국내 항만들의 대기오염 방지노력들은 하역장비의 동력전환이나 조명시설교체 등 초보적인 수준에 머무르고 있는 실정이다. 따라서 인천항도 선진국 항만들이 시행하고 있는 청정연료사용 등과 같은 기술적 저감방안 외에 선박속도저감프로그램 같은 운영적 측면에서의 대기오염 저감방안과 환경친화형 선박에 대한 항만이용료 인하 인센티브 등과 같은 시장기반형 대기오염 저감방안을 다각도로 시행할 필요가 있다. 셋째, 항만에서 발생하는 대기오염을 효율적으로 관리하기 위해서는 정부는 물론이고 해운항만관련 업계 및 이해당사자들간의 긴밀한 협력이 절대적으로 필요하다. 특히 대기오염 저감을 위한 시설개조나 장비설치에 소요되는 투자비용 부담과 관련하여 국내의 경우 정부나 항만공사가 경제적 부담을 담당하고 있어 실질적인 효과를 거두지 못하고 있다. 이에 반해 미국 로스엔젤레스항은 항만이용자 부담원칙과 경제적 인센티브 제공이라는 두 가지 수단을 병행하여 대기오염 저감 효과를 극대화하고 있다.

V. 인천항의 대기오염 저감방안

본 장에서는 인천항에서 발생하는 대기오염을 줄이기 위한 다양한 방안들을 컨테이너터미널과 일반부두로 구분하여 제시하고자 한다. 현재 세계 주요항만에서 시행되고 있는 배기가스 저감방안은 주로 컨테이너터미널을 중심으로 이루어지고 있다. 그러나 인천항의 경우 수도권 관문항으로서 일반화물의 취급물량이 많고 이에 따른 대기오염이 심각하다는 특수성을 감안하여 최근 논의되고 있는 일반부두의 환경친화적 벌크화물 취급사례를 소개함으로써 그 시사점을 도출해 보고자 한다.

1. 컨테이너터미널의 대기오염 저감방안

인천항의 컨테이너 전용터미널은 인천컨테이너터미널(ICT)과 선광인천컨테이너터미널(SICT), 기존 내항의 대한통운과 한진부두 외에 2009년 개장한 E1컨테이너터미널이 있다. 그리고 2013년까지 송도에 인천신항 컨테이너터미널 6개 선석을 개장할 예정으로 있다. 현재 인천항 컨테이너부두에 있어서 그린포트 전략은 터미널 운영 측면에 있어서 특정 시간대의 화물차 집중현상 해소와 CY 장치회전을 제고를 위한 24시간 반출입작업과 YT 자동정차시스템 도입을 들 수 있다. 그리고 RTGC 동력원을 전기로 전환하는 작업을 추진 중에 있다. 그러나 인천항이 향후 그린포트로서의 브랜드 이미지 제고와 에너지효율적 항만운영을 통한 비용경쟁력을 제고하기 위해서는 기존 대기오염 저감방안 외에 선진국 항만에서 추진되고 있는 다양한 대기오염 저감방안을 적극 도입할 필요가 있다. 이에 이하에서는 현재 주요 선진국 항만들이 추진하고 있는 컨테이너터미널의 대기오염 저감방안을 살펴보고자 한다.

최근 세계 주요 항만을 중심으로 컨테이너 터미널에서의 대기오염 저감방안은 기술적 혁신을 통한 대기오염 저감방안, 운영상의 변화를 통한 대기오염 저감방안, 그리고 시장기반형 대기오염 저감방안으로 대별할 수 있다. 이들 저감방안을 선박, 하역장비, 트럭, 기차 등 운송 및 하역장비로 구분하여 제시하면 <표 6>과 같다. 먼저 선박의 배출가스 저감방안으로는 선박속도저감 프로그램과 육상전원공급 방식이 가장 광범위하게 사용되고 있다. 선박속도저감 프로그램은 항만을 입출항하는 선박의 속도를 반경 20해리(40해리) 내에서 12노트로 속력을 줄여 운항함으로써 선박에서 발생하는 배기가스를 줄이고 연료의 효율성을 높이는 조치이다. 이 조치의 주요 장점은 선박엔진의 부하를 줄임으로써 배출가스 저감 및 연료소비를 줄일 수 있다는 점이고, 단점으로는 이 프로그램이 적용되지 않는 곳에서는 선박들이 다시 속도를 높임으로써 배출가스를 발생시킨다는 점과 항만내 선박통항시간이 길어진다는 점이다. 육상전원공급장치는 정박 중인 선박이 보조엔진을 가동하면서 발생시키는 배기가스를 줄이기 위해 육상측에서 선박에 전원을 공급하는 방식이다. 현재 스웨덴 고텐버그항(로로선), 알래스카 Juneau항(크루즈선), 씨애틀(크루즈선), 로스엔젤레스/롱비치항(컨테이너선) 등에서 이 장비를 이용하고 있다. 육상전원장치의 장점은 배출가스 저감, 보조엔진 가동에 따른 소음과 진동 제거, 선상 및 육상 근로자의 작업조건 개선 등을 들 수 있는 반면, 선박이 운항 중일 때는 배기가스가 여전히 배출된다는 점, 터미널과 선박에 관련 장비를 설치해야하는 점, 전력 주파수 전환문제, 고압케이블 안전문제 등이 단점으로 지적되고 있다.

<표 6> 컨테이너터미널의 대기오염 저감방안

구 분	선박	하역장비	트럭	기차
기술적 방안	· 청정연료 사용 (저유황 연료, CNG) · 선택적촉매저감시설 (SCR) 설치 · 해수세척기 설치	· 청정연료사용 · 노후 장비 교체 및 개조(e-RTG) · 배출통제기술 (DOC, DPF)	· 노후 트럭 교체 · 대체연료 사용 (하이브리드차량) · 배출통제기술 (DOC, DPF)	· 장비교체 (전기/하이브리드 열차) · 자동공회전 방지장치
운영적 방안	· 속도저감 프로그램 · 육상전원공급장치		-게이트자동화 (RFID, OCR) -트럭예약시스템	컨테이너전용열차서비스(rail shuttle service)
시장기반 프로그램	차별화된 항만이용료		-노후트럭 교체에 자금지원	

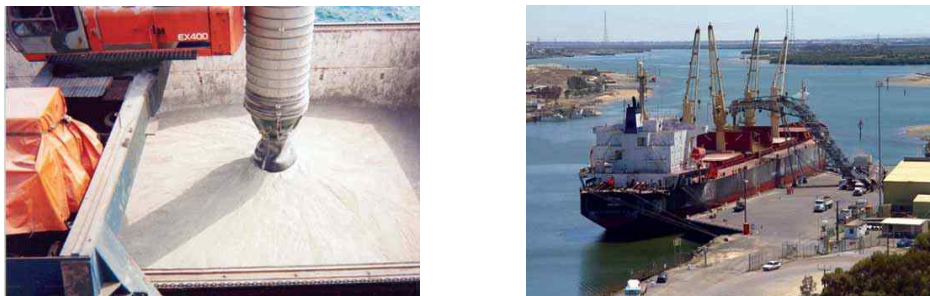
하역장비를 위한 저감방안으로는 장비교체, 저유황디젤연료 같은 청정연료의 사용, 배출통제기술 등이 있다. 장비교체는 항만에서 사용되는 각종 노후장비들을 청정엔진기준에 맞는 신형장비로 교체하는 것을 말한다. 특히 e-RTG의 경우 상당한 연료절감 및 배출가스 저감효과를 볼 수 있으나, 전력 공급을 위한 버스바(bus bar)나 케이블 릴(cable reel)을 추가 설치해하기 때문에 RTG 운영의 신축성이 떨어지고, 장비개조 비용이 높다는 단점이 있다. 청정연료 사용방안으로는 기존 디젤유 대신 초저유황연료, 에멀전 디젤유, 바이오디젤, 친환경천연가스(CNG) 등을 사용하는 것이다. 배출통제기술로는 디젤산화촉진제(DOC), 디젤분진필터(DPF), 선택적촉매저감시설(SCR) 등의 장비를 설치하여 배출가스를 줄이는 방법이다. 이 방안의 단점은 장비 설치비용이 많이 들고, 초저유황연료와 함께 사용해야 효과가 크다는 점이다. 트럭에서 발생하는 배기가스를 줄이는 방안으로는 항만에 출입하는 노후트럭을 신형트럭으로 교체하는 방법, RFID나 광학문자판독기(OCR) 등을 게이트에 설치하여 게이트 운영의 효율화를 추구하는 방법 등이 있다.

열차에 대한 배기가스 저감방안으로는 장비교체, 트럭운송을 철도운송으로 전환하는 모달시프트, 공회전 저감프로그램 등이 있다. 특히 최근 들어 선진국 항만들을 중심으로 컨테이너전용열차서비스(rail shuttle service)와 같은 모달시프트를 통해 항만과 배후지간 화물운송을 트럭에서 열차로 전환하는 방안이 적극 추진되고 있다. 그러나 인천신항의 경우 컨테이너 전용열차 도입에 대해 정부가 이미 투입 대비 편익이 낮은 것으로 평가하여 항만기본계획에서 제외한 상태이므로 인천항에 컨테이너 전용열차를 사용하는 것은 어려운 것으로 판단된다.

2. 일반부두의 대기오염 저감방안

벌크화물을 처리하는 일반부두는 컨테이너터미널에 비해 화물의 선적, 하역 그리고 보관 작업 시 화물유출과 비산분진이라는 보다 복잡한 환경문제에 직면하게 된다. 인천항 대기오염의 주요인도 사료부원료, 석탄 등 분진발생화물들의 취급과정에서 주로 발생하고 있다. 이에 인천항만공사 등 항만당국들은 방진망 및 집진시설 설치, 살수작업 등을 시행하고 있으나 비산먼지 문제를 완전히 해결하지 못하고 있는바 선진국 항만에 서 도입하고 있는 벌크화물 분진방지시설 등의 도입을 통해 보다 근원적인 해소노력이 필요한 실정이다. 최근 들어 항만에 있어서 벌크화물을 처리하는 방식에 있어서도 환경 친화적인 방안들이 점차 도입되고 있는바 이를 선적, 하역 그리고 보관이라는 세 가지 운영 측면에서 구분하여 살펴보면 다음과 같다. 먼저 곡물, 시멘트, 석탄 등 벌크 화물을 선적할 때 사용하는 장비인 Shiploader는 안벽에서 선박의 화물창으로 이들 화물을 선적하기 위해 벨트컨베이어(belt conveyor)를 이용하는데 이 때 발생하는 비산분진을 최소화하기 위해 전통적으로 쉘로더 붐(boom)에 다단식선적슈트(telescoping loading chute)를 부착하여 사용한다. 최근 B&W사는 선창 화물의 적재 높이에 따라 슈트가 자동으로 상하로 이동함으로써 선적 시 비산분진이 발생하는 것을 방지하는 쉘로더인 Telescopic Cascade Trimming Chute를 개발하여 보급하고 있다. 또한 Dos Santos International사는 벨트 컨베이어를 통해 화물 선적시 화물 유출이 발생하는 것을 방지하기 위해 이송점(transfer point)이 필요없는 고각도의 컨베이어벨트 시스템을 이용한 Snake Sandwich라는 장비를 개발하였다.

<그림 1> Telescoping Loading Chute와 Snake Sandwich 장비



다음으로 선박으로부터 벌크화물을 하역할 때 비산분진, 화물유출, 소음 등이 발생하므로 항만운영업자는 이 같은 환경문제를 해소하는 한편 높은 하역능력을 갖춘 장비를 필요로 하게 된다. 통상적으로 Ship Unloader는 공기흡입방식(pneumatic unloader), 연

속적인 기계방식(continuous mechanical unloader) 그리고 비연속적인 기계방식(discontinuous mechanical unloader)으로 나누어진다. 공기흡입방식은 진공청소기처럼 관의 내부에 공기를 고속으로 흐르게 하여 이속에 알갱이나 분말상태의 벌크화물을 운반하는 장치로 분진이 발생하지 않는다는 장점이 있으나 높은 에너지 소비와 소음이 심하다는 단점이 있다. 이에 반해 연속적인 기계하역방식은 분진발생을 최소화 하는 동시에 에너지 효율적이라는 측면에서 가장 환경친화적 하역방식이라 할 수 있다. 그러나 투자비용이 높고 아직 기술수준이 초기 단계라는 단점이 있다. 일명 그랩하역방식(grab handling)이라고도 불리는 비연속적인 기계하역방식은 중량 광석에서 분말상태의 화물까지 다양한 화물을 처리할 수 있다는 장점에 따라 지금까지 가장 널리 사용되어 왔으나 분진과 화물유출이 발생하기 쉽다는 단점을 가지고 있다.

한편 벌크화물들은 적양하를 위해 일시적으로 부두지역 내에 보관되어 지는 경우가 많다. 과거에는 석탄, 철광석 우드칩과 같이 강우에 손상을 입지 않는 화물의 경우 야외에 저장한다든지, 시멘트, 곡물, 사료처럼 기후변화에 따라 부패할 우려가 있는 화물들은 덮개로 씌워 보관하는 것이 일반적이었다. 그러나 석탄과 같은 화물 또한 바람에 의한 분진발생 가능성이 높기 때문에 방풍망을 설치하거나 수분공급 또는 화학물질 첨가를 통해 비산가능성을 방지하려는 노력들이 일시적 방편으로 사용되어져 왔다. 그러나 이러한 방식은 분진발생을 막기 위한 임시방편에 불과하고 특히, 화학물 첨가는 경제성 및 환경적 측면에서 바람직한 해결책이 되지 못한다. 이에 1980년대 일본에서는 대형 사이로 및 지붕이 설치된 파이프 컨베이어 시스템을 이용하여 분진발생을 억제해 왔다. 사이로와 같은 수직적 보관시설은 중력을 이용하기 때문에 리크레이머(reclaimer)와 같은 값비싼 장비가 필요하지 않다는 점과 공간활용도가 높다는 장점이 있는 반면, 대형사이로의 경우 설치에 시간과 비용이 많이 소요되고 다른 화물처리시설로 전환하기 어렵다는 단점이 있다. 이 같은 문제점들을 해결하기 위해 최근 벌크화물의 저장시설로 돔구조물이 도입되고 있다. 돔구조물의 장점은 설치가 용이하고 다양한 화물의 저장이 가능하다는 점을 들 수 있으며, 단점으로는 전통적인 사이로에 비해 더 넓은 부지를 필요로 한다는 점과 헬로더나 리크레이머와 같은 장비가 필요하다는 점을 들 수 있다. 그러나 돔구조의 최대 장점은 다양한 화물을 저장할 수 있는 한편 시설전환이 용이하다는 다기능성과 건설기간이 짧고 건설비용이 상대적으로 저렴하다는 측면에서 최근 인기를 얻고 있다. 특히 영국 Rubb Buildings사는 PVC 코팅 폴리에스터 재료를 이용하여 저렴하고 신속한 건축이 가능한 벌크화물 저장시설을 개발하여 공급하고 있다.

<그림 2> 돔구조물의 외형과 내부 모습(미국 Mid West의 석탄 저장시설)



끝으로 미국 Dust Solution Inc(DSI)사는 건무(dry fog)를 활용한 분진억제 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 압축공기와 특수노즐을 이용하여 공기 중에 있는 분진크기(1~10 micron)와 동일한 작은 물방울 표면을 만들어 분진과 결합하여 지상으로 낙하하도록 함으로써 분진발생을 해소하는 기술이다. 이 건무시스템은 1갤런의 물로써 축구경기장 크기의 절반 면적을 커버할 수 있어 극히 소량의 물만 사용될 뿐만 아니라 화학제도 필요없어 비용효과성이 매우 높다. 이 시스템을 이용할 경우 화물이 물에 젖는 일 없이 분진발생을 96% 이상 줄일 수 있다.

<그림 3> Dust Solution Inc사의 Dry Fog 분진억제시스템



VI. 결 론

본 연구는 항만 대기오염과 관련한 국내·외 기존문헌들을 심층적으로 고찰하고, 나아가 인천항의 대기오염 실태와 선진국 주요항만의 대기오염 저감사례 등을 분석함으로써 향후 인천항의 친환경 항만, 즉 Green Port로 발전시키기 위한 다양한 방안들을

제시하였다. 특히 기존 항만의 대기오염과 관련한 국내외 연구는 거의 대부분 컨테이너 터미널에 초점을 맞추어 진행되어 왔으나 본 연구는 인천항의 특성상 벌크화물의 하역 및 선적 그리고 보관과정에서 발생하는 화물유출과 분진발생에 따른 대기오염문제를 줄이기 위한 방안을 제시하였다는 점에서 기존 연구와의 차별성이 있다.

항만에서 발생하는 대기오염을 줄이기 위한 방안으로는 컨테이너 터미널의 경우 기술적 측면에서 청정연료사용, 배출통제장치 설치, 노후 장비 교체 및 개조 등의 노력이 필요하며, 운영적 측면에서는 선박의 속도저감 프로그램 도입, 육상전원공급장치의 도입, RFID를 활용한 게이트 자동화 방안, 모달시프트 등을 검토할 수 있다. 나아가 시장 기반프로그램으로 현재 스웨덴 고텔버그항에서 운영중인 차별화된 항만이용료 프로그램의 도입도 적극 검토해 볼 필요가 있다.

다음으로 벌크부두를 포함한 일반부두에 대한 저감방안으로는 기존의 방진망 및 방수포 설치와 진공흡입장치와 집진장치를 통해 대기오염원의 배출을 감소시키는 방안 외에도 최근 주요 하역장비업체들이 개발하여 선진국 항만들에서 도입하고 있는 혁신적인 방안들도 적극 검토할 필요가 있다. 이를 위해 화물선적 시 선창 화물의 적재 높이에 따라 슈트가 자동으로 상하 이동함으로써 선적 시 비산분진이 발생하는 것을 방지하는 쉘로더나 선적시 화물 유출이 발생하는 것을 방지하기 위한 고각도의 컨베이어 벨트 시스템과 같은 혁신적인 장비 도입을 추진할 필요가 있다. 또한 벌크화물 저장시설에 있어서도 설치에 비용과 시간이 많이 소요되는 기존 사이로 방식 대신, 다양한 화물을 저장할 수 있고 시설전환이 용이할뿐더러 건설기간이 짧고 건설비용도 상대적으로 저렴한 돔구조로 전환하는 방안도 함께 고려해 볼 필요가 있다.

끝으로 본 연구의 한계와 향후 연구과제는 다음과 같다. 본 연구는 인천항의 대기오염 저감방안을 컨테이너부두와 일반부두로 구분하여 제시하였으나 자료의 부족으로 각 대안별 비용-편익분석이 이루어지지 못했다는 한계가 있다. 또한 인천항을 비롯한 국내 대부분의 항만에 있어서 대기오염에 대한 정확한 실태분석이 이루어지지 않아 항만 활동에 따른 대기오염 피해정도와 대기오염 저감방안에 따른 정확한 기대효과를 도출하기 어려운 실정이다. 따라서 향후 국내 항만의 대기오염 실태조사가 시급히 이루어져야 할 것이며 이를 토대로 향후 연구에서는 다양한 대기오염 저감방안별 비용-효과성을 분석하여 국내 항만에 가장 적합한 전략을 수립·추진해 나가야 할 것이다. 특히 인천항의 경우 벌크화물 처리에 따른 대기오염을 효과적으로 줄이기 위해서는 석탄, 양곡, 사료부원료 등 화물별, 부두별로 적합한 저감시설이나 장비를 분류하여 그 경제성을 평가해 볼 필요가 있다.

참고문헌

- 동아일보, 「인천 대기오염 5년째 7대 도시 중 최악」, 2009.10.13
- 박노경, “국내항만의 환경관리 자가진단방법에 관한 소고”, 『해운물류연구』, 제42호, 2004, 43-67.
- 박명섭·홍난주·한능호, “선박기인 대기오염 규제를 위한 국제규범에 관한 연구”, 『해사법연구』, 제21권 제2호, 2009, 27-30.
- 부산대학교 물류혁신네트워킹연구소, 『해운·항만산업의 미래 신조류』, 효민, 2009.
- 부산항만공사, 「부산항 Green Port 건설과 탄소배출권 확보 사례」, 2009
- 송계희·한철환, “항만의 환경오염 저감방안에 관한 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제23집 제1호, 2007, 95-113.
- 인천광역시, 『대기질 개선 종합계획 2002~2004』, 2005.
- 임종섭, “항만환경규제에 따른 Green Port 구축방안”, 『한국항만경제학회지』, 제26집 제2호, 2010, 99-118.
- 정봉민 외, “컨테이너 항만개발과 환경문제”, 『한국해양수산개발원』, 2004.
- 정봉현, “녹색성장과 친환경적 항만관리정책의 방향:광양항을 중심으로”, 『해양물류연구』, 제3권, KMI, 2009, 88-112.
- 조경두·김정숙, “인천항 대기환경 현황분석 및 관리방안”, 『인천발전연구원』, 2009.
- 조경두, “항만대기오염관리를 위한 기초연구”, 『인천발전연구원』, 2010.
- 조동오, “LA/LB항과 부산항의 저탄소 항만운영에 관한 비교연구: 비용부담을 중심으로”, 『해양환경안적학회지』, 제16권 제2호, 2010, 223-228.
- 최동현 외, “항만환경계획 수립을 위한 연구”, 『한국해양수산개발원』, 2001.
- 최동현 외, “주요 항만 오염실태 및 관리방안 연구”, 『한국해양수산개발원』, 2000.
- 토머스 프리드먼, 『코드 그린』, 21세기북스, 2008.
- 한국해양수산개발원, “항만의 대기오염 규제와 정책시사점”, 『KMI 현안분석』, 2005.
- 한철환, “World Major Ports’ Clean Air Strategies and Its Implications”, 『제6회 광양항 국제포럼 및 제3회 AJSL 국제학술대회』, 2010, 183-210.
- AAPA, *Green Ports: Environmental Management and Technology at U. S. Ports*, 2001.
- Bailey, D., Solomon, G., "Pollution Prevention at Ports: clearing the air", *Environmental Impact Assessment Review*, Vol.24, 2004, 749-774
- Bill Sylte, B., McGuire, T., Calkins, D., *Environmental impacts of international shipping : Case Study of the ports of Los Angeles and Long Beach*, OECD, 2010.
- Darbra, R., Ronza, A., Casal, J., Stojanovic, T., Wooldridge, D., "The Self Diagnosis Method: A New Methodology to Assess Environmental Management in Seaports", *Marine Pollution Bulletin*, Vol.48, 2004, 420-428.

대기오염 저감을 통한 인천항의 Green Port 전략

- DCMR Rijnmond Environmental Agency, and ROM Rijnmond, *Rijnmond Regional Air Quality Action Program*, 2006. 1-25
- Eelco den Boer and Gijs Verbraak, *Environmental impacts of international shipping : A Case Study of the ports of Rotterdam*, OECD, 2010.
- Gallagher & Talyor, *International Trade and Air Pollution: The Economic Costs of Air Emission from Waterborne Commerce Vessels in U.S*, Global Development and Environment Institute Working Paper No.01-08, Tufts University, 2003, 1-12.
- Greenport Journal, *Gothenburg goes even greener*, November 2009.
- ICCT, *Air Pollution and Greenhouse Gas Emission from Ocean-going Ships*, 2007.
- Lin, B., Lin, C., "Compliance with International Emission Regulations: Reducing the air pollution from Merchant Vessels", *Marine Policy*, Vol.30, Issue.3, 2006, 220-225.
- Natural Resources Defense Council, *Harboring Pollution: The Dirty Truth about U.S Ports*, 2004. 3, 1-72.
- _____, *Harboring Pollution: Strategies to Clean Up U.S Ports*, 2004. 8, 1-85.
- Port of LA/LB, *San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan*. 2006.
- Tzannatos, E. "Cost Assessment of Ship Emission Reduction Methods at Berth: the case of the Port of Piraeus", *Maritime Policy and Management*, Vol.37 No.4, 2010, 427-445.
- Port of Rotterdam, *Working Together ; toward a sustainable port*, 2007.

국문 요약

대기오염 저감을 통한 인천항의 Green Port 전략

한철환

21세기 에너지기후시대를 맞이하여 세계 각국은 미래 국가성장동력으로 녹색산업을 중점 육성하고 있으며, 우리나라 역시 현정부 들어 녹색성장을 국정과제로 추진하고 있다. 이 같은 녹색혁명의 바람은 해운항만산업도 예외가 아니어서 IMO를 비롯한 국제기구와 미국, EU를 중심으로 한 세계 주요국들은 항만에서 발생하는 대기오염을 줄이기 위한 다방면의 노력을 경주하고 있다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 경우 선박이나 항만에서 발생하는 환경오염 및 이의 저감방안에 대한 논의는 비교적 최근 들어 이루어지고 있어 선진국 항만들과는 그 격차가 큰 실정이다. 또한 최근 급격한 성장을 보이고 있는 중국 항만을 비롯한 주변 항만들과의 치열한 경쟁에서 국내 항만들이 지속가능한 우위를 확보해 나가기 위해서도 차별화된 Green Port 전략의 필요성은 그 어느 때보다 절실한 상황이다.

이에 본 연구는 항만활동으로 인해 발생하는 대기오염원과 인천항의 환경오염 실태 및 현황을 살펴보고, 세계 주요항만에서 시행되고 있거나 향후 도입될 예정으로 있는 청정대기 전략을 검토함으로써 인천항에 대한 시사점을 도출하고자 한다. 특히 본 연구는 수도권 관문항으로서 연간 막대한 양의 벌크화물을 취급하고 있는 인천항의 대기오염 저감방안을 컨테이너터미널과 벌크터미널로 구분하여 제시함으로써 기존연구와 차별성을 도모하였다.

항만에서 발생하는 대기오염을 줄이기 위한 방안으로는 컨테이너 터미널의 경우 기술적 측면에서 청정연료사용, 배출통제장치 설치, 노후장비 교체 및 개조, 운영적 측면에서는 선박속도저감 프로그램 도입, 육상전원공급장치의 도입, RFID를 활용한 게이트 자동화, 그리고 시장기반프로그램으로 차별화된 항만이용료 프로그램의 도입을 검토해 볼 필요가 있다. 한편 벌크부두(일반부두)의 경우 선적과 하역 시 다단식 선적슈트, 고각도 컨베이어벨트, 건무시스템 등을 사용하여 비산분진과 화물유출 발생을 방지하는 한편, 화물보관 시 기존 사일로 방식 대신 돛구조물이나 폴리에스터 보관시설을 사용하는 방안을 검토할 필요가 있다.

핵심 주제어 : 그린포트, 대기오염, 컨테이너터미널, 벌크터미널, 인천항