

공기질 관리에 관한 환경 비용편익 연구 [동해항만 주변 미세먼지오염을 기준]

김은주* · 이춘길 · 김지현 · 박영구†

*우송정보대학 샵마스터과

†강원대학교 환경공학과

(2012년 10월 31일 접수 ; 2012년 12월 11일 수정 ; 2012년 12월 15일 채택)

Evaluation of Environmental Benefit and Cost for Management of Air Quality - [Based on Fine Dust Pollution on Donghae Harbor]

Eun-Joo Kim · Choon-Gil Lee · Ji-Hyun Kim · Young-Koo Park†

**Department of Shopmaster, Woosong College*

*†Department of Environmental Engineering, Kangwon National University, 200-701, Korea
(Received October 31, 2012 ; Revised December 11, 2012 ; Accepted December 15, 2012)*

요약 : 본 연구는 강원도 소재 동해항만에서 발생하는 미세먼지 관리를 위한 환경비용편익을 산출하는 것이다. 항구 인근에 부유하는 미세먼지의 농도는 매우 높은 편이며, 지점에 따라 국가 기준인 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 관측되는 곳도 있다. 시험대상 항구는 주로 석회석과 석탄을 취급함으로써 미세입자상 물질이 하역시 다량 발생한다. 연구결과 PM10을 기준으로 연간 12톤의 미세먼지가 하역작업 시 발생하는 것으로 밝혀졌다. 덧붙여서 원료물질을 비롯한 다양한 화물을 운송하는 대형차량 및 중장비는 디젤 검댕이를 발생하고, 도로먼지의 비산을 유발한다. 지방정부는 해마다 20억원 이상의 비용을 투자하여 대기중 미세먼지를 제거하고 있다. 편익대비 비용을 산출한 결과 그 효과는 최소 240%에서 최대 720%까지 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

주제어 : 석회석, 석탄, 편익대비 비용, 로딩, 언로딩, 운송수단.

Abstract : Study attempts to evaluate the environmental cost and benefit for management of particulate matters of Donghae harbor in Gangwondo. The level of fine dust suspended in the vicinity of the harbor was quite high, exceeding the national standard ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) depending on the places. The test field harbor deals with lots of limestone and coal, so that fine particulates could be generated while loading it and unloading. It was estimated that the direct handling of cargos might produce 12 tons of PM10(Particulate Matters of $10 \mu\text{m}$) a year. In addition, heavy vehicles for transportation of various cargos including raw materials emit huge amount of diesel soots and cause to redispersion of road dust. The local government spends more than 2 billion

†교신저자 (E-mail : ygpark@kangwon.ac.kr)

won every year, and it contributes to reduce the atmospheric dust. According to the prediction of cost to benefit, it will present the effectiveness in 720 % maximum and at least 240 %.

Keywords : limestone, coal, loading and unloading, traffic vehicles, benefit rate.

1. 서론

국내 5대항 중 하나로 주로 건설토목 원료를 수출입하는 동해항(D항)은 항내 수면적 10 km², 안벽 2.5 km², 방파제 2.5 km²이며 접안능력은 5만 톤급 2척, 3만 톤급 4척, 1만 톤급 3척 그리고 5천 톤급 4척으로 모두 11척이다. 연간 하역능력은 1만 1,593톤으로 부산항, 인천항, 포항항, 울산항 다음으로 큰 항구이다. 주요 수입화물은 유연탄, 코르크, 망간 등이며, 수출화물은 시멘트, 백운석이다. 특히, 시멘트가 99%를 수출입으로서 차지하고 있다[1,2]. 또한, 원료의 이동, 하역 및 야적 등에서 많은 환경오염물질을 배출하고 있으며, 이에 따라 D항의 항만시설, 선박 등과 주변지역 대기질에 미치는 영향의 중요성이 근래 들어 크게 부상되고 있다. 더욱이 D항 주변은 석회암의 파식으로 형성된 여러 기암들이 있어 산업 항으로서 뿐만 아닌 관광자원으로 가치가 있다. 따라서 D항 주변지역 대기오염물질 배출량 측정 및 분석을 통해 배출량 저감대책 제안이 필요하며, 저감대책에 따른 대기질 개선효과를 산출하는 것이 중요하다.

본 연구는 D항에서 발생하는 미세먼지량을 측정하고, 배출량을 토대로 환경관리 비용 및 이로 인한 편익을 산출하였다. 환경오염으로 인한 건강보건학적 피해를 비용으로 환산하여 평가하기 위하여 1993년 속성가격접근법이 제시된 적이 있으며, 서울지역의 아황산가스과 오존농도변화를 토대로 산출한 것이다[3]. 미세먼지에 대한 환경비용편익 연구는 아직 활발하게 진행되고 있지는 않지만 지하철 실내공기질 평가를 위한 연구로부터 PM10과 PM2.5의 정량적 수준을 계산하여 경제적 가치를 평가한 연구가 최근 발표된 적이 있다[4]. 본 연구는 국내 표준모델이 아직 설정되고 있지 않은 상태이므로 EU에서 적용하고 있는 환경적 편익모델을 적용하여 연구대상 항구지역의 오염실태 관리에 관한 경제성을 평가해보고자 하였다.

2. 실험

2.1. 비산먼지 조사기간 및 위치

D항 내 비산먼지 조사는 2010년 4월 8일부터 2010년 10월 24일 까지 총 8개 지점을 지정하여 3회에 걸쳐 총 18회 측정하였다(Table 1 참조).

Table 1. Sampling Date of Air Dust in the Field

sampling	date
1st	4. 8 - 4. 10
2nd	6. 22 - 6. 24
3rd	10. 22 - 10. 23

측정위치는 비산먼지의 대표성 있는 시료를 분석하기 위해 해당지역의 주변 환경 및 기상 조건을 고려하여 선정하는 것이 바람직하기 때문에 D항 내 비산먼지 측정지점 선정은 Fig. 1에서와 같이 대기오염공정시험방법에 규정되어 있는 방법을 준수하였으며, 시료 채취 시 일반적인 주의사항을 고려하여 주변지형에 따른 기류의 영향이 최소화 될 수 있는 지점을 선택하였다[5]. Table 2에 현장 측정 위치를 요약하였으며, 각 측정지점은 항구에서 2 km 이내의 위치를 선정하였다. 특히 유치원(A-2)과 주택가(A-5)는 항만에서 발생하는 미세먼지의 영향이 직접적으로 시민들에게 전해지는 곳이고, 민원이 발생할 잠재성이 높은 현장이라고 판단되었다.

2.2. 측정방법

비산먼지는 환경정책기본법의 대기환경기준 항목으로 총 8개 측정지점을 2차례 걸쳐 아침, 점심, 저녁으로 총 12회 측정하였다. 미세먼지(PM10)의 측정방법은 대기오염공정시험법에 준

Table 2. Sampling Site of Dust(PM10 and TSP)

Site ID	Sampling Site	Note
A-1	city hall	central point
A-2	kindergarten	harbor outside
A-3	town office	harbor outside
A-4	Daewoo restaurant	harbor outside
A-5	roadside residential	harbor outside
A-6	harbor office	harbor inside
A-7	harbor entrance	harbor entrance
A-8	cargo stack	harbor inside



Fig. 1. Dust sampling points in the harbor.

하였으며, Aerosol Mass Monitor(Sibata, GT-331, Japan)를 이용하여 대기 중 미세먼지 ($\leq 10\mu\text{m}$) 시료를 포집하여 분석하였으며, 베타 선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타 선이 여과지 위에 포집된 먼지를 통과할 때 흡수 소

멸되는 베타선의 차로써 측정되어지며 다음 식에 따른다[6].

$$I = I_0 \times \exp(-\mu X) \tag{1}$$

여기서, I : 먼지를 투과한 베타선 강도

- Io : Blank 여과지에 투과된 베타선 강도
- μ : 먼지에 의한 베타선 질량 흡수소멸 계수(cm^2/mg)
- X : 단위면적당 포집된 먼지의 질량 (mg/cm^2)

총 부유물질(TSP: total suspended particulates)은 하이볼륨에어샘플러(High Volume Air Sampler, KIMOTO, Japan)을 이용하여 대기 중 부유하고 있는 총 입자상 물질을 여과지 상에 포집하여 무게 차에 의한 중량 농도를 측정하였다.

2.3. 비용 및 편익 산출

D항 주변에서 발생하는 미세먼지의 주요 원인은 하역장비, 야적활동, 차량이동에 의한 재비산, 선박 배출가스 등을 예상할 수 있다. 항만의 하역장비는 크레인, 컨테이너 취급장비, 지게차, 청소차 등이 있으며, 트랙터, 탱크로리, 트럭 등은 주로 항만 내외부를 이동하며 화물의 운송수단으로 도로이동오염원으로 간주할 수 있다. 따라서 이러한 항만 주변의 미세먼지 발생원의 배출계수를 비도로오염원과 동일한 방법을 적용한 참고문헌으로부터 인용하여 연간 총 배출량을 산정하였다. 배출계수는 EPA의 방법론을 기준으로 추정된 값을 적용하였다. 항만하역장비 현황은 한국항만물류협회(2008)의 자료를 참고하였으며, 청소차량 등은 현지 실사를 통한 추정값을 사용하였다. 이러한 기초자료를 토대로 산출한 항만 주변 비산먼지에 대한 포괄적 비산먼지의 배출계수는 다음 식과 같다 [7,8].

$$EF = k(0.0016) \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} \quad (2)$$

여기서, EF (kg/Mg) : 야적시 발생하는 비산먼지 배출계수

U(m/s) : 평균 풍속 (동해기상대의 연간 평균 풍속값인 2.54 m/s)

M(%) : 하역 및 야적물질의 수분함량

k : 입경에 따른 보정계수, PM10의 경

우 0.35 적용

항만 대상 주변 포장도로의 재비산먼지량은 미국 EPA에서 2011년 새롭게 제시한 산정식 [9,10]을 기초로 다음과 같은 배출계수 정의를 이용하였다.

$$EF = k \times (sL)^{0.91} \times W^{1.02} - C \quad (3)$$

여기서, EF(g/VKT) : 포장도로 재비산먼지 배출계수

k : 입자보정계수

sL(g/m^3) : 도로의 먼지부하량

W : 통행차량의 평균중량

C(g/VKT) : 배출계수 보정인자

동해항의 포장도로 재비산 배출량을 계산하기 위한 활동도는 정확한 자료가 없음을 따라 유사한 국내 항만의 자료를 토대로 그 추정 값을 복수로 선정하여 비교 평가하였다. 즉, '인천항'의 측정 평균값인 $0.83 g/m^3$ 에 대해 차량의 운행 비율이 인천항의 30% 정도인 것을 감안하여 본 연구에서는 $0.28 g/m^3$ 를 적용하였다[8]. 한편, D항의 항만 비산먼지의 저감은 자연강우와 도로청소를 고려하였으며, 도로청소에 의한 저감효과는 진공 흡입차와 살수차가 운행하며 작업하고 있었으며, 전체 면적의 약 50%를 대상으로 작업하고 있는 것으로 예상하였다. 현재 동해시는 동해항에서 발생하는 비산먼지에 대한 환경 비용을 집행하지 않으며, 동해항내 입주해 있는 5개사(동양시멘트, 대한통운, 세방, 쌍용해운, 동석물류)에서 운영하는 세륜시설 및 집진기 등의 비산먼지 제어시설 운영비 및 자체 청소비용을 합산하여 현재의 편익을 계산하였고, 청소 빈도에 따른 미세먼지 부유농도 저감량을 추정하여 개선 시의 편익을 재 산출함으로써 환경비용편익을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 항만 주변 미세먼지(PM10) 현황

미세먼지 측정 결과 기준 지점인 D시청(A-1)은 $27.1 \mu g/m^3$, A-2는 $24.6 \mu g/m^3$, A-3은 $31.7 \mu g/m^3$, A-4는 $82.1 \mu g/m^3$, A-5는 $76.1 \mu g/m^3$, A-6은 $92.4 \mu g/m^3$, A-7은 $116.4 \mu g/m^3$ 그리고 A-8은 $54.3 \mu g/m^3$ 으로 조사되었다. A-7 지점

외의 모든 측정 지점에서는 24시간 환경기준치 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 측정되었으나, D항의 지점에서 가장 멀리 떨어진 A-2와 A-3은 상대적으로 낮지만 항내, 그리고 항외 지점에서 가깝고, 도로변 지점인 A-4, A-5 그리고 A-6 지점은 상대적으로 높게 나타났다. 보다 현장적인 수준을 파악하기 위하여 지면에서 약 5 m에서 10 m까지의 높이에 대하여 측정한 본 연구결과, 도로에 인접해있는 주택가(A-5)와 항만 진출입로(A-7)의 먼지 농도가 지극히 높은 것을 알 수 있다. 아울러 항만에서 수 km 떨어진 지점(A-1, A-2, A-3)은 해풍의 영향을 지속적으로 받음으로써 매우 맑은 공기질을 유지하고 있었다.

따라서 관내 미세먼지 고정발생원이 다수 분포해있지 않은 특성을 고려할 때 지역을 통과하는 차량에 의한 미세먼지 발생량이 높은 점유율을 나타낼 것으로 사료된다. 동시에 항구를 통해 접안하는 선박의 연료연소로부터 발생하는 미연소탄소 입자와 항구 내 작업현장, 하역 및 곡식을 비롯한 분체형 혹은 잠재적 분말화가 가능한 화물의 보관 및 수송 등으로부터 다량의 미세먼지가 형성되는 것으로 판단된다. 국내 주요 항만기지에서의 미세먼지 측정결과, 화물 하역시와 차량이동이 빈번할 때 실시간 미세먼지농도가 높게 나타났다[9]. 화물취급 관련해서는 목재하역과 사료 부원료를 하역하는 부두에서 상대적으로 높은 농도의 미세먼지가 측정된다고 보고하였다. 이러한 항구 내외와 주변 지역의 공기중 미세먼지를 저감하기 위하여 특정 발생원을 파악하고, 이에대한 집중적인 관리와 지속적인 모니터링이 필요하다고 할 수 있다. 한편 본 연구에서는 별도로 구분하여 측정 분석하지 않았지만 초미세입자로 분류되고 있는 PM2.5의 양도 상당히 높을 것으로 예상된다. 일반적으로 PM10의 약 70%까지 차지하는 것으로 알려진 초미세입자에 대한 규정이 국내에서도 곧 도입될 것으로 미루어 시급히 파악하여 관리대책을 수립해야한다. 특히 바닷가 주변에서 많이 관찰되는 해염입자는 PM2.5 또는 PM1.0 으로 대부분 구성되므로 일반 도시대기의 구성비율과는 차이가 나면서 인위적인 관리가 용이하지 않은 실정이다.

우선 본 연구에서는 Fig. 2와같이 항만 내부와 항만으로 직접 통하는 도로주변에서 발생하는 미세먼지의 관리에 소요되는 비용을 산출하

여 그로부터 얻을 수 있는 정량적인 편익과 비교하였다. 그러나 도로청소나 기상조건에 따른 미세먼지의 자연증가 및 감소량은 고려하지 않았다.

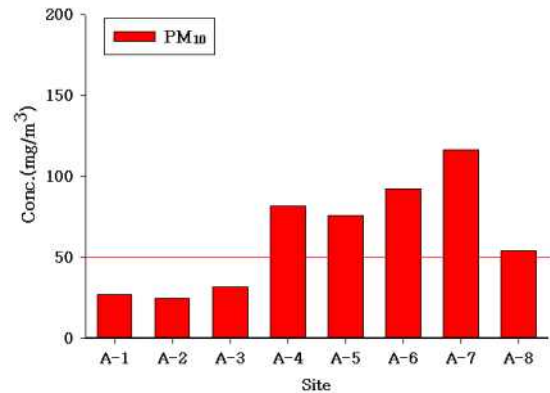


Fig. 2. Average concentration of PM10 at test sites.

3.2. 총 부유물질(TSP) 측정 결과

총 부유물질 측정결과 기준점인 시청 청사(A-1)에서 $31.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮게 측정되었으며, 항구의 출입구(A-7)와 도로변 주택가(A-5)가 각각 $124.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, $109.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 측정되었다. 또한 상가(A-4) 및 항만청(A-6)에서 각각 $94.6\mu\text{g}/\text{m}^3$, $84.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 측정 되었으며, 항외 지점인 유치원(A-2)이 $37.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준지점을 제외한 가장 낮은 값을 나타냈다.

Fig. 1과 2에 도시한 PM10과 TSP 값은 그 유형은 유사하지만 측정방법이 상이하어 각 지점에서의 절대값은 일관성이 부족하게 나타났다. Fig.3에서 총부유먼지를 의미하는 TSP 또한 도로변의 주택가와 항만 진출입구에서 높으며, 항만에서 충분히 떨어진 곳에서 낮은 농도 값을 보이고 있었다. 이러한 두 가지 부유먼지의 농도수준을 고찰해볼 때 항만에 의한 주변 대기오염이 충분히 예견된다. 그리고 동쪽에서 기원하는 해풍이 주요 풍향인 지역특성을 감안했을 때, 항만에서 멀어질수록 미세먼지3의 농도가 낮아지는 것은 상대적으로 이동거리가 짧은 고비중의 조대입자가 단시간 발생하여 침강하는 경우가 많을 것으로 추정된다. 즉, 중장비를 비롯한 각종 항만 하역설비와 대형차량의

이동에 의해 도로에 축적되어 있는 먼지입자들이 바람이나 차량이동에 의해 지상에서 낮은 높이까지 비산하였다가 빠른 시간 내에 침강하는 현상이 반복되고 있는 것으로 사료된다.

도로가 인접해 있는 도시 내 주택가의 경우, 주요 도로에서 일정 거리 떨어진 지역보다 높은 농도의 미세먼지가 관찰된 이유는 항만관련 대형 차량들이 시내 주도로를 이용하여 이동하기 때문에 차량에서 직접 배출되는 탄소성분의 입자상 물질과 도로재비산 먼지가 먼거리를 이동하지 않은 채 주변에 머물거나 침강하기 때문이다. 결국 동해시의 지리적 특성을 고려할 때 시의 주요 미세먼지 오염원은 항만일 수밖에 없으며, 이에대한 집중관리를 통하여 동해항 뿐만 아니라 관내 대기질을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

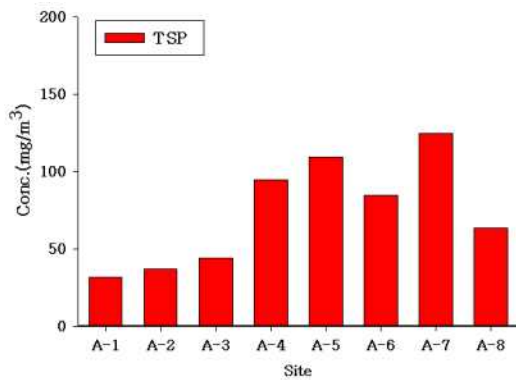


Fig. 3. Average concentration of TSP at test sites.

3.3. 항만주변 미세먼지 관리를 위한 환경비용 편익 분석

환경적 비용편익을 평가하기 위해 사회적인 비용 산출이 우선시 되어야 하며, 국내는 사회적으로 합의가 가능한 신뢰성 있는 자료와 근거를 아직 보유하지 못해 국외에 제시되어 검증된 추정방법을 활용하여 단위 미세먼지 대비 사회적 비용을 산출하는 방법을 선택하였다 [10,11].

Table 2는 미세먼지 및 부유물질에 관한 대기환경기준을 근거로 PM10과 TSP로 분류하여 단위별 사회적 비용을 요약해 좋은 것으로 이는 EU 15개국 환경보고서나 연구논문결과를 토대로 산출한 평균값으로서 환경의 이용 용도

에 따른 영향을 정량적으로 가격화한 수치이다 [11,12]. 이러한 사회적 비용에 대한 배경 자료는 조건부 가치평가모델(CVM, Contingent Valuation Method)을 적용하여 대도시의 부유 먼지가 인체 건강, 특히 호흡기계 질환을 유발할 수 있는 확률을 중심으로 환산한 비용이다.

항만에서 발생하는 대기오염 배출원은 항만 하역장비와 항만 내에서의 비산먼지, 차량 및 선박 엔진연소, 하역 및 야적 작업, 자동차 등에 의한 도로 재비산 등을 고려해볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 동해항 하역실적으로부터 하역 및 야적에 의한 미세먼지량을 산출하고, 출입하는 선박으로부터 발생하는 배출량, 그리고 자동차 운행에 따른 도로 재비산 먼지량을 계산하였다. 동해항의 2010년도 하역실적은 약 22,000천 ton 규모이며, 이로부터 발생하는 하역 및 야적에 의한 미세먼지량은 약 2.2 ton으로 추정되었다. 이때 선박에 의한 미세먼지 배출량은 국립환경과학원의 대기오염 배출량 자료(2006)를 근거로 산출하였다 [12]. 그러나 이 값은 2007년도 환경부의 추정치인 1 ton/year 보다는 높은 수치이며, 인천항의 연 15톤에 비하면 매우 낮은 발생량이다 [13].

Table 2. The Social Cost of Each Unit (won/kg)

	PM10	TSP
Cost	301,940	458,600

도로 재비산 먼지부하량은 도로표면 위의 silt loading과 주행차량의 무게에 따라 결정되는데, 앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 인천항의 약 30%에 해당하는 0.28 g/m²로 설정하여 도로 재비산 먼지부하량으로 적용하였다. 여기에 동해항을 출입하는 차량과 인근도로를 통행하는 차량은 승용차 및 소형 승합차가 월간 30,622 대, 대형화물차 6,135 대, 기타 중장비 148 대 등으로 파악되며, 차종별 평균 무게(버스 15톤, 승용차 1.5 톤, 승합차 2톤, 대형트럭 20톤, 기타 중장비 25톤)[13]를 고려하여 배출계수를 구해보면 7.44 g/VKT가 산출된다. Table 3은 강우시를 고려하지 않은 건조한 날씨에서 국내 일반 항만에서 차량운행에 의한 75 μm 이하의 먼지값인 silt loading (여기서는 0.91)만

Table 3. Annual Loading and Unloading Performances in Dong-hae Harbor

Time	International line		Domestic line		Total	
	Vessel	Tons	Vessel	Tons	Vessel	Tons
2010	1,235	13,374,920	2,461	8,736,562	3,696	22,111,482
2009	1,358	10,726,954	2,806	8,255,053	4,164	18,982,007
2008	1,404	10,279,529	3,136	8,466,569	4,540	18,746,098
2007	1,571	8,993,031	3,239	8,028,674	4,810	17,021,705
2006	1,497	8,569,403	3,125	7,647,642	4,622	16,217,045
2005	1,858	7,997,927	3,002	7,402,371	4,860	15,400,298
2004	2,088	6,808,998	3,599	8,607,873	5,687	15,416,871
2003	1,948	6,313,420	3,540	9,332,509	5,488	15,645,929
2002	1,633	6,250,620	3,227	8,703,950	4,860	14,954,570
2001	962	5,950,847	3,227	11,003,153	4,189	16,954,000

자료) 항만하역요람, 한국항만물류협회(2011)

을 근거로 산출된 결과이다. 항만 내부 및 항만과 직접적으로 관련이 있는 차량의 주변도로에서의 총 운행거리를 10 km로 설정하여 도로 재비산먼지 배출량을 산정해보면 연간 약 33 ton의 PM10 이 발생하는 것으로 나타난다. 이는 대형 항만인 인천항에서 발생하는 재비산 PM10인 159톤의 약 20.7 %에 해당한다 [8]. 이때 차량의 운행속도는 항만 내에서는 40 km/hr, 항만 인근도로에서는 60 km/hr를 기준 속도로 지정하였다.

따라서 동해항만에서의 하역과 화물취급을 위한 차량에 의한 직접 발생 미세먼지량은 35.2 ton/yr로 추정되었다. 이러한 미세먼지 배출량을 토대로 환경적 비용을 산출한 결과 연간 약 106억 원(환경비용: 35.2 ton × 301,940 원/kg × 1000 = 약 106억 원)으로 예상되었다. 그러나, 현재 동해시와 항만사업소에서 약 20억 원의 비용을 들여 지속적으로 미세먼지 저감을 위해 노력하고 있는 바, 동해항 주변에서 측정되는 부유 미세먼지량은 연간 약 12 ton으로 추산되며, 이 양을 환경비용으로 환산 시 약 36억 원이 산출된다. 따라서 매년 발생하여 제거되는 23.2톤의 PM10이 모두 동해시의 관리에 의해 감소한 것이라면, 비용 대비 환경편익 비율은 약 348%의 높은 효율로 나타나며, 일반적

으로 자연적인 감소 및 소멸을 제외하고, 인위적인 관리노력에 의해 제거되는 양이 총 제거되는 양의 30%라고 가정한다고 해도 약 2배 이상의 높은 효과를 기대할 수 있을 것으로 나타났다.

$$\begin{aligned} \text{투자대비 환경편익 비율(\%)} &= \{(\text{제어가능 미세먼지량에 따른 환경적 비용}) - (\text{측정된 미세먼지량에 따른 환경적 비용})\} / (\text{현재 소요되는 비용}) \\ &= \{(35.2 \text{ ton} \times 3\text{억/ton}) - (12 \text{ ton} \times 3\text{억/ton})\} / 20 \text{ 억} = 348 \% \end{aligned}$$

한편, 대부분의 선진국에서 시행하고 있는 PM2.5에 대한 규제 및 관리를 근거로 인위적인 발생원에 대하여만 고려해도 국민 건강기여를 기준으로 수도권 지역에 대하여 사회적 편익이 최대 5조원까지 될 것으로 예측되었으며, 이에 대한 관리비용은 약 8500억원이라는 값이 산출되기도 하였다. 따라서 먼지의 크기가 작을수록 유해성이 높아지므로 사회에 끼치는 비용은 훨씬 클 것이며, 이에대한 엄격한 관리가 시급하다고 할 수 있다. 우리 정부에서도 PM2.5에 대한 현황조사를 마치고, 2015년 시행예정이므로, 이에 대한 제어관리 기술개발과 더불어 보다 과학적인 비용편익 평가가 수반되어야하겠다.

4. 결론

본 연구에서는 D항내외의 주변 지역에 대한 비산먼지(TSP, PM10)를 위주로 환경성을 고찰하고, 측정된 비산먼지 농도를 토대로 비산먼지량으로 산정하여 환경 비용 편익을 계산하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동해항 주변에서 발생하는 미세먼지의 농도의 1차 조사에서는 최소 24.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최대 178.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었으며, 2차 조사에서는 최소 29.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최대 136.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 또한 3차 조사에서는 최소 15.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최대 107.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다.
2. 동해항 주변에서 발생하는 총 부유먼지 농도의 1차 조사에서는 최소 29.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최대 217.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었으며, 2차 조사에서는 최소 23.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최대 136.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다. 또한 3차 조사에서는 최소 17.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최대 162.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다.
3. 동해항의 2010년도 하역실적은 약 22,000 천 톤 규모이며, 이로부터 발생하는 하역 및 야적에 의한 미세먼지량은 약 2.2톤으로 추정되었다.
4. 동해항 주변 도로 재비산먼지 배출계수는 7.2 g/VKT 이고, 이로부터 추정할 수 있는 PM10의 연간 배출량은 약 58 ton으로 추정할 수 있었다.
5. 동해항으로 입항하는 대형 선박엔진으로부터 주로 발생하는 미연소탄소 입자성분의 미세먼지는 연간 약 16.2 ton으로 추정되고 있다.
6. 현재 관측되는 동해항 주변 대기 중 부유 미세먼지량은 연간 약 12 ton으로 추산되며, 이를 환경비용으로 환산 시 약 36억 원이 산출된다.
7. 현재 저감설비 및 관리를 통한 비용 대비 환경편익 비율(D)은 약 348 % 로서 매우 효율적인 관계가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Korea Maritime Institute, Stevedoring Work Step by Step Safety Problems and Countermeasures, (2001).
2. Ministry of Science & Technology, Development of Environment Remediation Technology : Reclamation of Land Disturbed by Mining, (1999).
3. Young Sik Lim and Young Seop Jeon, Using Hedonic Price Techniques to Improve Air Quality Benefit Estimation, The Volunteering Academic **87**, (1993).
4. Seung Ho Kim, Dong Ki Lee and Young Min Jo, Cost-benefit Calculation for Performance Improvement Subway Gongjosil Filtration, *Korean Journal of Indoor Environments*, 223, (2001).
5. National Institute of Environmental Research, NIER Metropolitan Air Quality Management Plan Studies, Final Report (2006).
6. Ministry of Environment, Atmospheric Environment Process Test (2010).
7. Korea port Distribution society Harbor Loading and Unloading Crade (2007).
8. Jong-Sang Youn, Estimation of Air Pollutant Emissions from Port-related Sources in the Port of Incheon, Inha University Master's Academic degree Paper, (2010).
9. So Young Jeon, Jeong Kim, Yong Hee Han and Young Kee Jang, Estimation of Fugitive Dust Emission from Paved Roads by New Equation, *52th Journal of Korean Society for Atmospheric Environment Conference symposium*, 316, (2011).
10. Mahesh D. Pandey: Canada Wide Standard for Particulate Matter and Ozone (Cost-Benefit Analysis Using a Life Quality Index, Risk Analysis. **23**, **1**, (2003)
11. Hanley N. and C.L. Spash: Cost-benefit Analysis and the Environment, Edward Elgar, (1993).

12. National Institute of Environmental Research, NIER, (2007).
13. National Institute of Environmental Research, NIER Fugitive Dust Emissions Calculation Methods Improved and the Road Re-development of Real - time Measurement Method, Final Report, (2008).
10. Kangwon Public Health and Environment Research Institute, <http://www.gihe.re.kr/>
11. Anders Kjellberg, Subjective, Behavioral and Psychophysiological Effects of Noise, *Scand J Work Environ Health*, **12**, 29(1986).
12. Trang T.T. Duong, Byeong-Jyu Lee, Determining Contamination Level of Heavy Metals in Road Dust from Busy Traffic Areas with Different Characteristics, *Journal of Environmental Management*, 1(2010).