

인천연안의 부유쓰레기 실태 및 효과적인 수거방안

정우철, 박찬원/인하공업전문대학 선박해양시스템과 교수

1. 배경

인천광역시에는 중국·한국·일본을 잇는 BESETO 라인의 중심 축에 위치한 지리적 특성과 인천국제공항 개항으로 21세기 동북아시아의 물류·관광 중심지로 발돋움할 것으로 기대된다. 따라서 쾌적한 연안환경을 조성하는 것은 21세기 인천, 나아가서는 우리나라의 발전 방향과 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 그러나 최근의 인천연안은 많은 쓰레기로 뒤덮혀져 있으며, 이로 인한 오염이 심각한 실정이다.

일반적으로 연안해역에서 발생하는 쓰레기의 형태는 다음과 같이 크게 네 가지로 나뉘어질 수 있다.

- 자연재해(장마, 태풍)에 의하여 하천을 통하여 흘러 들어온 산림 쓰레기
- 상행위 후 하천이나 바다로 무단 투기된 포장용 박스
- 장마철 하천을 통하여 흘러 들어온 생활 쓰레기
- 양식장과 어선들의 어업활동 후 무단 투기되거나 재해시 유실된 (폐)어구

이러한 쓰레기들은 항·포구와 해수욕장 등 관광지의 해안에 쌓여 관광지의 미관을 저해 할

뿐 아니라, 오랜 시간이 지난 후 퇴적되어 물고기의 산란장을 없애고 갯벌의 산소공급을 막게 된다. 또한 작은 비닐 쓰레기는 파도에 의하여 자연적으로 파쇄 되거나 햇빛에 의하여 분해되기 전까지 오랜 기간 부유하면서 이를 먹이로 잘못 알고 먹은 어류가 폐사 하던서 연쇄적으로 먹이사슬에 피해를 주기도 한다. 이로 인하여 해양생태계가 파괴되고 해양수질이 악화되는 등 심각한 2차 오염을 일으키게 된다. 그러나 이러한 해상 부유쓰레기는 조류와 조수간만의 차이로 인하여 넓은 바다를 떠다니게 되므로 이의 수거가 쉽지 않은 실정이다.

현재 인천 연안에는 한국해양오염방제조합소속의 인천-938호(총 배수량 32톤) 등 총 7척의 청소선박이 작업 중에 있으며, 인천광역시는 이 선박들의 작업량을 토대로 한강 영향권역 500,000ha에서의 부유쓰레기 총 발생량을 연간 약 250,000톤으로 추정하고 있으나 그 정확한 실태는 파악하기가 매우 어려운 실정이다. 특히 인천 연안해역은 최대 조류가 약 3knots 정도로 매우 빠를 뿐 아니라, 조수간만의 차이도 최대 약 8m 정도가 되는 등 부유쓰레기 수거가 쉽지않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 인천연안의 부유쓰레기 실태를 조사/분석하고,

현재 가장 활발히 작업중에 있는 인천-938호 쌍동형 청소선박의 쓰레기 수거효율과 성능을 개선시킬 수 있는 방안을 회류수조에서의 모형 시험을 통하여 도출하였다.

2. 인천연안의 부유쓰레기 실태

1997년 발표된 인천연안의 수질조사 결과 (Table 1)와 국립수산진흥원에서 발표한 연도별 수질오염 변화 (Table 2)에 따르면 인천연안의 화학적산소요구량(COD)은 3등급수 기준인 2ppm을 훨씬 초과하고 있으며 최근 들어서는 부유물질의 농도(SS)가 크게 증가했음을 알 수 있다. 또한 연안에 적조현상을 일으키는 영양물질인 질소(N)와 인(P)의 양이 많이 검출되고 있다. 특히 총 질소(T-N)의 경우 역시 3등급수 기준인 0.1ppm을 크게 초과하고 있는데, 그 이유는 육지로부터 정화가 제대로 이루어지지 않은 공장폐수와 생활하수의 유입이 증가되었기 때문으로 판단된다. 이러한 해양오염의 영향인자를 다시 살펴보면 한강을 통하여 흘러나오는 공장폐수와 생활하수가 인천연안의 주 오염원임을 알 수 있다 (Table 3).

Table 1 인천연안 COD 현황 (1997년)

지역	화수부두	인천항	영종도
항목			
COD(ppm)	5.2	3.8	3.8

(자료 : 동아일보, 1997. 5. 26)

Table 2 인천연안 연도별 수질오염 변화
(단위 : ppm)

연도	항목	SS	T-N	T-P
1994		11.8	1.227	0.014
1995		12.7	0.778	0.036
1996		60.2	0.766	0.026
1997		68.8	0.515	0.025
1998		41.5	0.449	0.030

(자료 : 인천광역시, "인천광역시 환경백서", 2000. 9)

Table 3 인천 앞바다 유입 오염 부하량 (1998년)

오염원	오염 부하량 (%)		
	COD	T-N	T-P
한강을 통한 유입	59.02	68.17	66.20
시화호를 통한 유입	14.41	5.21	5.16
인천시 (육·해상 오염원)	22.70	20.42	24.37
경기도 (시화·안산 하수 처리장 및 김포시)	3.87	6.20	4.27
계	100	100	100

(자료 : 인천광역시, "인천광역시 환경백서", 2000. 9)

한국해양오염방제조합 소속의 4척의 청방선이 1999년 8월부터 2000년 7월까지 영종대교 인근의 고청도~영종도~팔미도~변도~오이도(시화방조제)를 연결하는 인천항계에서 1년간 수거한 쓰레기 실적을 Table 4에 나타내었다. 장마철과 해빙기에 쓰레기 수거량이 집중됨을 알 수 있다.

Table 4 청방선 쓰레기 수거 실적 (인천항계)
(1999. 8~2000. 7)

월	총 운항 시간(H)	단위 시간당 수거실적 (Kg/H)	원목개수 (본)	페타이어 (개)
'99. 08	147:0	176	52	31
'99. 09	129:25	148	28	15
'99. 10	135:10	112	35	23
'99. 11	99:30	95	21	19
'99. 12	100:20	106	42	20
'00. 01	105:20	95	40	18
'00. 02	116:30	210	17	25
'00. 03	130:10	217	30	25
'00. 04	327:55	105	35	27
'00. 05	274:10	292	27	23
'00. 06	288:40	135	29	20
'00. 07	357:20	80	44	41

(자료 : 한국해양오염방제조합 인천지부)

Fig. 1과 Fig. 2는 해상에 떠있는 쓰레기와 이 쓰레기를 청방선이 건어올려 갑판에 쌓아 놓은 광경이다. 작은 나무토막과 비닐 쓰레기 그리고 스티로폼 조각이 대부분을 차지하고 있다.

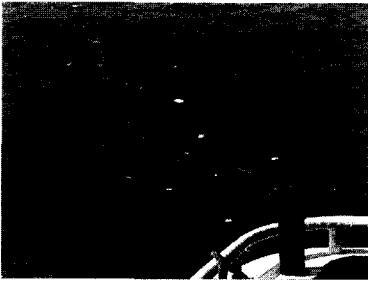


Fig. 1 해상 부유쓰레기



Fig. 2 갑판에 쌓여있는 수거 쓰레기

Fig. 3과 Fig. 4는 홍수 때 떠내려온 대형 플라스틱 통과 통나무를 각각 선체에 설치된 크레인과 로프를 이용하여 수거하고 있는 모습이다. 대형 플라스틱 통은 가정용인 것으로 보아 버려진 것이고 통나무는 인천항에서 하역 작업시 유실된 것으로 보인다.



Fig. 3 대형 플라스틱 통 수거

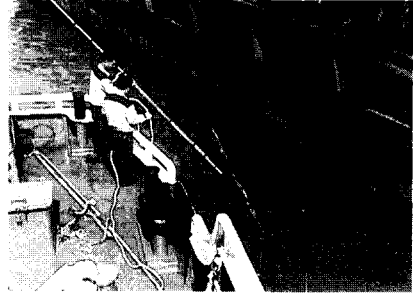


Fig. 4 원목 수거

이상에서 살펴본 바와 같이 인천 연안의 부유쓰레기는 한강을 통하여 흘러 들어온 생활 쓰레기와 나무 조각, 버려진 페어구 및 유실된 통나무 등 매우 다양할 뿐만 아니라 이로 인한 2차 오염이 계속되는 등 심각한 문제를 안고 있는 것으로 판단된다.

3. 청항선의 선형개량

3.1 대상선박

본 연구에서 대상으로 한 선박은 현재 인천 연안에서 가장 활발히 사용되고 있는 32톤급 쌍동형 부유쓰레기 청소선박(인천-938호, Fig. 5)으로 전장은 약 25m이고, 220마력 주기관 2기와 두 개의 프로펠러에 의하여 항해속도 약 6~7knots, 쓰레기 수거 작업 시에는 약 3~4knots 정도로 운항되고 있다. 본 선박은 선수부의 뾰족한 문이 닫힌 상태로 항주 하다가 작업 시에는 브이(V)자 형태로 열려 쓰레기를 모으는 역할을 하고, 컨베이어가 아래로 내려와 부유쓰레기를 건어올리게 된다. 본 선박은 쓰레기 수거효율이 뛰어난 반면 운항 중 저항이 너무 큰 문제가 있어 이의 개선이 필요한 실정이다. 즉 Fig. 6에서 보는 바와 같이 쓰레기를 수거할 때 이를 모으는 역할을 하는 선수부 뾰족한 부분에서 운항 중 강한 쇄파가 발생하여 저항을 증가시키게 된다. 따라서 빠른 속도로 이동하는 부유쓰레기를 효과적으로 추적하여 수거하기 위해서는 쓰레기 수거효율 뿐 아니라 운

항 중 저항성능을 개선시킬 필요가 있다고 보여진다.

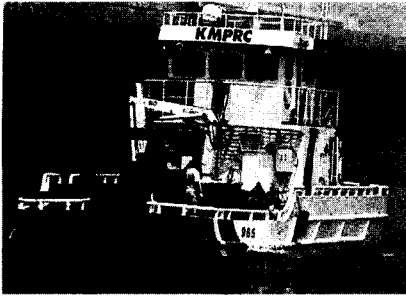


Fig. 5 인천-938호 청항선

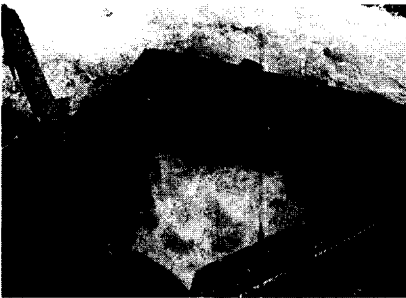


Fig. 6 인천-938호 청항선의 선수 쇄파

3.2 실험조건

모형시험은 인하공업전문대학 회류수조에서 수행되었으며, 모형은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 앞부분이 뾰족한 2차원 쇄기형상으로 단순화하였다. 여기에서 WS-model은 단동체의 형상이 대칭인 경우이고, WS-A-model은 WS-model의 선수부에 쓰레기를 모으는 브이(V)형 판을 아크릴로 제작하여 부착한 모형이다. 아크릴 판의 길이(L')는 모형선 길이(L)의 10%로 하였다. 또한 WI-model은 단동체의 형상이 비대칭인 경우로서 특별한 부가물 없이 선체 형상만으로 쓰레기 수거효율을 향상시킬 수 있는 방안을 검토하고자 시도하였다. 모형선의 길이(L)는 1.5m, 단동체 폭(B)은 0.1m로 선수부는 유동 가시화의 편의를 위하여 아크릴로 그리고 나머지 부분은 나무로 제작되었다. 한편, 실

험은 흘수를 0.08m로 고정하여 모든 경우에서 배수량과 침수표면적이 동일한 조건이 되도록 하였다. 모형시험은 다섯가지 경우에 대하여 수행되었으며 각각의 특징은 Table 5에 나타내었다.

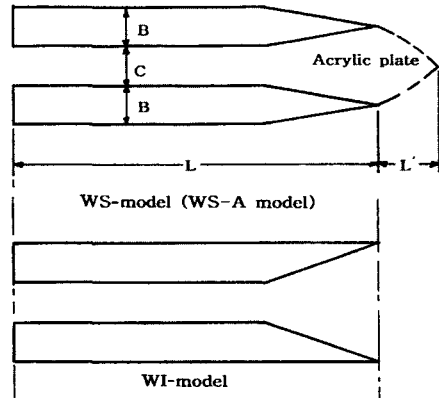


Fig. 7 시험모형 형상

Table 5 시험모형의 특징

model name		Dimensions		Characteristics	Remarks
		L/B/d	"C" in Fig. 7		
WS	WS-10	L = 1.5 m B = 0.1 m d = 0.08 m	1.0 B	Symmetric mono hull	
WS-A	WSA-10		1.0 B	WS-model with V-type gate	L' = 0.15 m
WI	WI-05		0.5 B	Asymmetric mono hull	
	WI-10	1.0 B			
	WI-15	1.5 B			

3.3 시험결과

WS-10과 WS-A-10의 전저항을 Fig. 8에 비교하여 나타내었다. 여기에서 WS-A-model은 선수부에 쓰레기를 모으는 역할을 하는 V형 판이 운항중 닫혀있는 경우이다. WS-A-10의 경우가 약 50% 정도 저항값이 더욱 크게 나타났다. 그 이유는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 WS-A-10의 경우 실제선박의 운항중 나타나는 강한 선수파(Fig. 6)와 유사한 쇄파의 발생으로 인하여 저항이 크게 증가했기 때문으로 보인다.

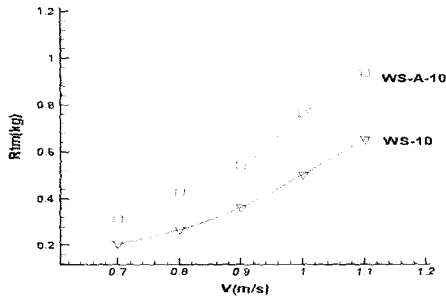


Fig. 8 WS-10과 WS-A-10 모형의 전저항 비교

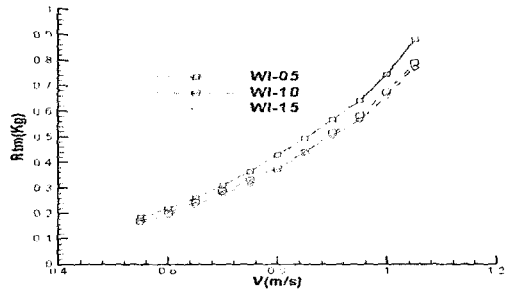
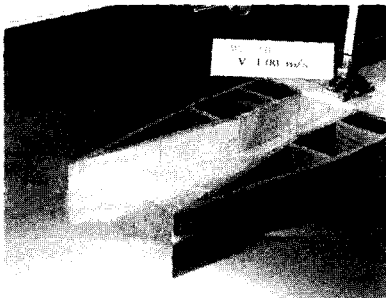
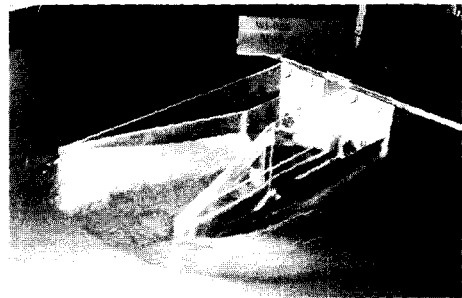


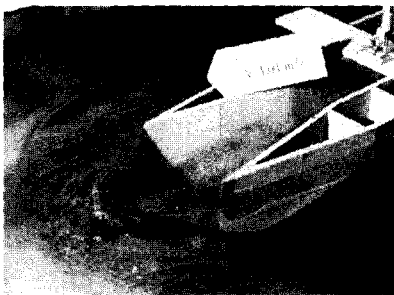
Fig. 10 WI-model의 전저항비교



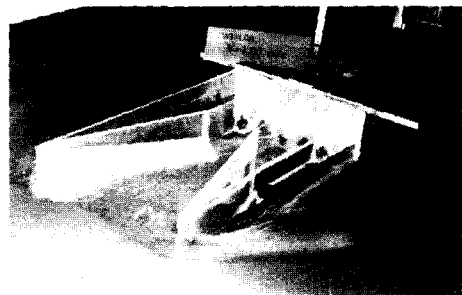
(a) WS-10



(a) WI-05



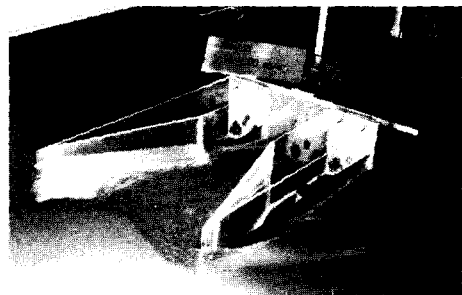
(b) WS-A-10



(b) WI-10

Fig. 9 WS-10과 WS-A-10 모형의 선수부 자유표면, $V=1.0$ m/s

본 연구의 주목적이 특별한 부가물 없이 WS-A-model의 쓰레기 수거효율은 유지하면서 저항성능을 개선하는 것이기 때문에 이의 가능성을 확인하기 위하여 고안된 WI-model의 저항성능을 확인하였다. Fig. 10은 WI-model의 두 선체 간격 변화에 따른 전저항 계측치를 보인다. 두 선체 사이의 거리가 가까워질수록



(c) WI-15

Fig. 11 WI-model의 선수부 자유표면, $V=1.0$ m/s

저항이 더욱 커지는 경향을 보이고 있다. Fig. 11에서 보는 바와 같이 WI-model의 경우가 WS-model의 경우(Fig. 9(a))보다 두 선체 사이에서 파간섭이 더욱 강하기 때문에 보여진다. 한편, WI-10의 경우는 WS-10의 경우보다는 전반적으로 저항값이 더욱 크지만, WS-A-10 보다는 15%정도 저항이 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 WI-model과 같이 주 선체의 형상을 개량한다면 쓰레기 수거효율을 크게 떨어뜨리지 않고도 운항중 저항성능을 크게 개선할 수 있으리라 판단된다.

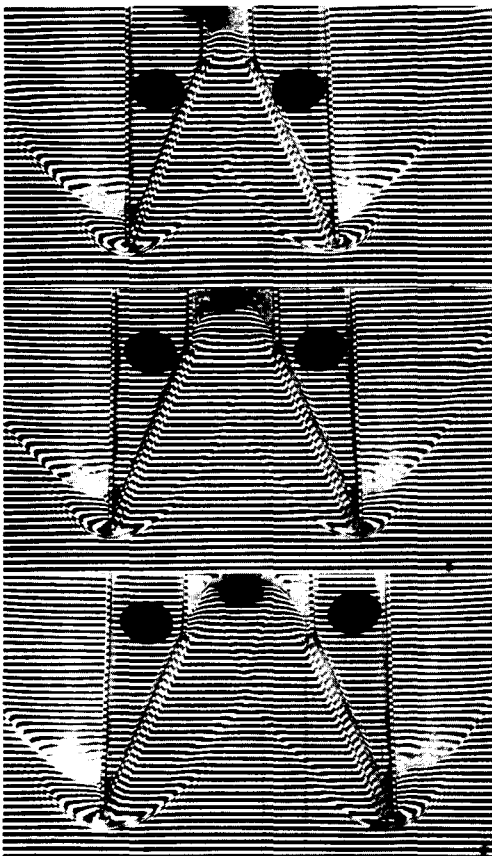


Fig. 12 WI-model의 선수부 자유표면, $V=0.5\text{m/s}$

본 연구의 대상선박인 인천-938호 청소선의 쓰레기를 수거할 때 운항하는 선속(3-4노트)에 대응하는 실험조건인 $V=0.5\text{m/s}$ 에서의 자유수

면 유동특성을 Fig. 12에 나타내었다. 직선 줄무늬 스크린을 자유수면 위에 설치하고 유리로 된 수조의 바닥을 통하여 관찰한 것으로, 굴절된 직선의 형태로부터 자유수면의 형상을 파악할 수 있다. 표면장력을 제거하기 위하여 계면활성제를 뿌려주면서 실험을 수행하였다. 선체 형상이 볼록한 부분(꺼어진 부분)에서는 교란이 심하게 일어나고 있으나 벌어진 선수 부분에서는 특별히 복잡한 유동현상이 나타나지 않고 있다. 따라서 쓰레기를 수거하는데 특별한 어려움이 없으리라 판단된다. 따라서 WI-model과 같이 선수형상을 변화시키고 두 선체 사이의 거리를 적절히 조절한다면 운항중 저항성능을 개선시킬 수 있을 뿐 아니라 쓰레기 수거에도 큰 무리가 없으리라 판단된다.

4. 결 론

1) 인천연안의 해수수질은 상당부분 수도권의 수질오염 실태를 반영하는 것으로, 이러한 수질오염의 주원인 중 하나인 부유쓰레기는 한강을 통해 흘러 들어온 생활 쓰레기와 나무 조각, 버려진 페어구 및 유실된 통나무 등 매우 다양할 뿐만 아니라 이로 인하여 2차 오염이 가중되는 등 심각한 문제가 야기되는 것으로 판단된다. 따라서 쓰레기 무단투기에 대한 감시/감독을 강화하고 인천연안에서 청항선의 효율을 높이거나 더 많은 선박을 투입하는 등 보다 적극적인 대책 마련이 시급하다고 보인다.

2) 쌍동형 부유쓰레기 청소선박의 쓰레기 수거효율과 저항성능 개선을 위한 선형개량을 최종목표로, 쌍동선의 선수부 형상과 두 선체 간격이 저·중속 영역에서 저항성능에 미치는 영향과 두 선체사이의 자유수면 유동특성을 회류수조에서의 모형시험을 통하여 조사하였다. 본 연구에서 대상으로 한 인천-938호 청소선의 쓰레기 수거효율을 유지하면서 저항성능을 개선시킬 수 있는 방안을 도출하였으며, 향후 본 연구에서 도출된 결과를 실제 선박에 적용할 수 있는 후속 연구가 계속 되어야 할 것이다.