

쌍동형 부유쓰레기 청소선의 선수선형 개량을 위한 실험적 연구

정 우철*, 박 찬원*, 홍 기섭*, 유 호근**

* 인하공업전문대학 조선과 , ** (주)한영기연

An Experimental Study for Bow Hull Form Development of Catamaran Type Sweeping Vessel

Uh-Cheul Jeong*, Chan-Won Park*, Ki-Sup Hong*, Ho-Guen Yu**

* Dept. of Naval Architecture, Inha Technical College, Incheon 402-752, Korea

** Hanyoung Eng. Co. Ltd., Incheon, Korea

KEY WORDS: Catamaran type sweeping vessel 쌍동형 청소선, Circulating water channel 회류수조, Model test 모형시험, Hull form development 선형개발

ABSTRACT: In this paper, the resistance performances of twin hull forms, which are simplified as two-dimensional wedge shape, are experimentally investigated in low and middle speed ranges to find out the effect of distance between two hulls and fore-body shape for the future hull form development of catamaran type sweeping vessel. The model tests are performed for seven different cases for three models in the circulating water channel(CWC) of Inha Technical College. The free surface flows are observed together to investigate the relation between resistance performance and free surface characteristics. A conceptual design for the modification of bow hull form is presented and the efficiency is discussed.

1. 서 론

최근 인천국제공항 개항 및 주변 관광단지 조성, 2002년 월드컵 개최와 더불어 많은 관광객이 인천신공항을 통하여 한국을 방문할 것으로 예상되며, 이들이 처음으로 접하게 되는 인천연안의 모습은 한국의 첫 인상으로 자리잡게 되기 때문에 쾌적한 환경을 조성하는 것은 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 그러나 인천연안의 일부지역 수질은 3등급수에도 미치지 못할 정도로 심각하게 오염되어 있는 상태이고, 한강을 통하여 흘러들어 오는 공장폐수와 생활하수 그리고 각종 쓰레기가 이러한 오염의 주원인으로 보여진다(인천광역시, 2000).

일반적으로 연안해역 오염에 크게 영향을 미치는 쓰레기는 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 재해 시 유실된 (폐)어구.

이러한 쓰레기들은 항·포구와 해수욕장 등 관광지의 해안에 쌓여 미관을 저해 할 뿐 아니라, 오랜 시간이 지난 후 퇴적되어 물고기의 산란장을 없애고 갯벌의 산소공급을 막게된다. 또한 작은 비닐 쓰레기는 파도에 의하여 자연적으로 파쇄 되거나 햇볕에 의하여 분해되기 전까지 오랜 기간 부유하면서 이를 먹이로 잘못 알고 먹은 어류가 폐사 하면서 연쇄적으로 먹이사슬에 피해를 주기도 한

다. 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. 특히 인천 연안해역은 최대 조류가 약 3knots 정도로 매우 빠를 뿐 아니라, 조수간만의 차이도 최대 약 8m 정도가 되는 등 부유쓰레기 수거에는 많은 악 조건이 존재하고 있다.

현재 인천 연안에는 인천광역시 소속의 청소선 인천-929호(총 배수량 3.63톤), 한국해양오염방제조합 소속의 인천-938호(총 배수량 32톤) 등 총 7척의 청소선박이 작업 중에 있으며, 그 중 인천-938호 청소선은 쌍동형 선박으로서 그 우수한 작업성능 때문에 가장 활발히 운항되고 있다. 그러나 이 선박은 쓰레기 수거효율 향상에 그 초점이 맞추어진 관계로 저항이 너무 큰 문제가 있어 이의 개선이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 인천-938호 청소선박의 쓰레기 수거효율과 저항성능 개선을 위한 선형개량을 최종목표로, 쌍동선의 선수부 형상과 두 선체간격이 저·중속 영역에서 저항성능에 미치는 영향과 두 선체사이의 자유수면 유동특성을 회류수조에서의 모형시험을 통하여 조사하였다. 또한 쓰레기 수거효율과 저항성능을 개선시킬 수 있는 방안도 함께 검토하였다. 모형은 앞부분이 뾰족한 2차원 뾰족형상으로 단순화하였고, 모형선의 길이는 1.5m, 단동체 폭은 0.1m로 나무로 제작하였다. 실험은 흘수를 0.08m로 고정하고 두 선체 사이의 간격은 단동체 폭의 0.5, 1.0 그리고 1.5배로 변화시켜 가면서 세 가지 모형, 총 일곱 경우에 대하여 수행하였다.

2. 모형 시험

2.1 대상선박

본 연구에서 대상으로 한 선박은 현재 인천연안에서 운항 중인 32톤급 쌍동형 부유쓰레기 청소선박(인천-938호)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 (Fig.1) 작업 시에는 브이(V)자 형태로 열려 쓰레기를 모으는 역할을 하고, 컨베이어가 아래로 내려와 부유쓰레기를 걷어올리게 된다.(Fig.2). 본 선박은 쓰레기 수거효율이 뛰어난 반면 운항 중 저항이 너무 큰 문제가 있어 이의 개선이 필요한 실정이다. 즉 Fig.3에서 보는 바와 같이 쓰레기를 수거할 때 이를 모으는 역할을 하는 선수부 뾰족한 부분에서 운항 중 강한 쇄파가 발생하여 저항을 증가시키게 된다(Baba, 1969). 따라서 빠른 속도로 이동하는 부유쓰레기를 효과적으로 추적하여 수거하기 위해서는 쓰레기 수거효율 뿐 아니라 운항 중 저항성능을 개선

시킬 필요가 있다고 보여진다.



Fig.1 인천-938호 청소선

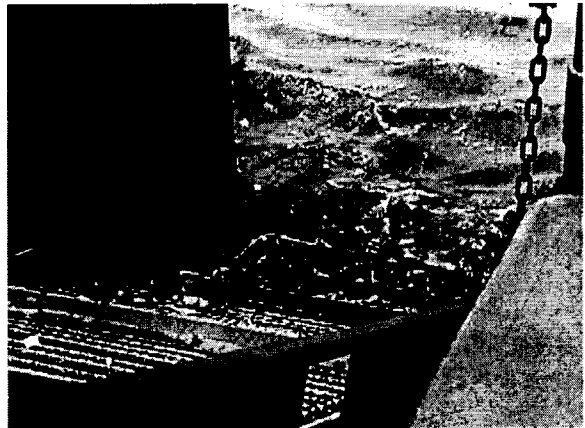


Fig.2 인천-938호 청소선 작업광경



Fig.3 인천-938호 청소선의 선수 쇄파

2.2 모형시험 및 실험조건

모형시험은 인하공업전문대학 회류수조에서 수행되었으며, 모형은 Fig.4에서 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 가정하였다. 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, 실험은 흘수를 0.08m로 고정하여 모든 경우에서 배수량과 침수표면적이 동일한 조건이 되도록 하였다. 두 선체 사이의 간격(C)은 WS-model과 WI-model의 경우에는 각각 단동체 폭의 0.5, 1.0 그리고 1.5배로 변화시켜가면서, 그리고 WS-A-model의 경우에는 1.0배에 대하여 실험을 수행하였다. 이하 이를 각각 WS-05, WS-10, WS-15, WI-05, WI-10, WI-15, WSA-10 이라고 한다.

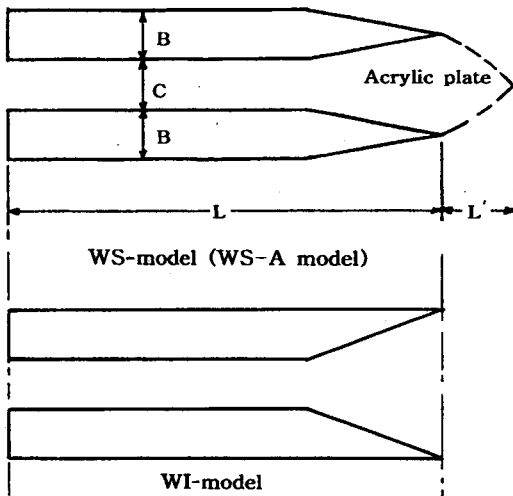


Fig.4 Schematic view of test models

본 연구의 대상선박인 인천-938호 청소선(전장 25m)은 운항속도가 6~7노트 정도이므로 F_n 은 0.23 정도이고, 선형개량 후 9~10노트 정도가 목표속도이므로 F_n 은 0.3 정도이다. 또한 쓰레기 수거시의 속도는 3~4노트 정도이므로 F_n 은 0.12 근방이다. 따라서 1.5m 모형선의 경우 0.5m/s 정도에서 효율적인 부유쓰레기 수거를 위한 자유수면 유동특성이, 그리고 0.8~1.1m/s에서는 저항특성이 중요하게 된다. 따라서 본 실험에서는 유속 0.4~1.1m/s에서 저항시험을 수행하면서 자유수면 유동특성을 함께 관찰하였다. 한편, 본 실험의 주된 목적이 쌍동선의 두

선체 사이의 간격이 저항특성 및 자유수면 유동특성에 미치는 영향에 대한 상대적인 비교/평가이므로 난류축진장치는 부착하지 않고 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 토론

WS-model의 전저항을 Fig.5에 비교하여 나타내었다. 전반적으로 세 경우의 저항값 차이는 그리 크지 않지만 $V=1.0\text{m/s}$ 이상에서는 WS-15의 저항값이 가장 크고, WS-10, WS-05 순서로 그 값이 작아지고 있다. 즉, 쌍동선의 두 선체 사이의 거리가 멀어질수록 저항값이 커지는 경향을 보이고 있다. 세 경우 모두 배수량 및 침수표면적이 동일하므로 이러한 저항값의 차이는 전부 잉여저항의 차이라고 할 수 있다. 그러나 WS-15의 경우에는 모형선의 전 폭이 0.35m로 수조 폭 1.2m에 비하여 비교적 크기 때문에 고속에서는 축벽효과(Blockage effect)가 상대적으로 크게 작용한 것도 또 다른 한 이유가 된다고 보여진다 (Tamura, 1972).

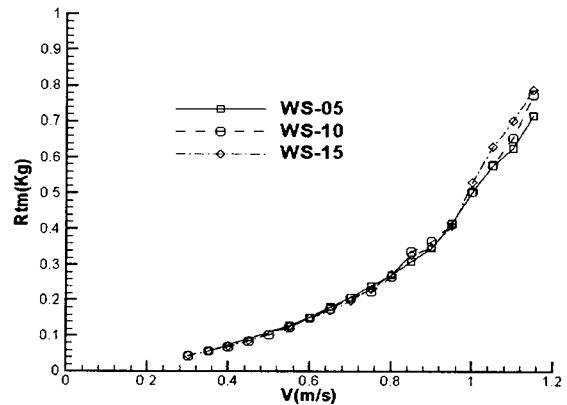


Fig.5 Comparison of total resistance for WS-05, WS-10 and WS-15 models

잉여저항의 비교를 Fig.6에 나타내었다. 마찰저항은 ITTC-1957 Line에 의하여 계산되었다. 앞의 전저항값 비교에서 나타난 바와 같이 $V=1.0\text{m/s}$ 이상의 영역에서는 두 선체 사이의 거리가 멀어질수록 잉여저항이 크게 나타나고 있지만 $V=0.8\text{m/s}$ 부근 이하에서는 이와는 반대되는 경향이 나타나고 있다. 즉, 고속영역에서는 WS-15의 경우가, 그리고 저속영역에서는 WS-05의 경우가 잉여저항이 더욱 크게 나타났다. 물론, 앞에서 언급한 바와 같이 WS-15의 경우 모형선의 폭이 다른 모형보다 상대적으로 크기 때문에 고속영역에서 축벽효과의 영향이 크게 작용한 것도 한 이유이겠지만 WS-10의 경우 다른 두 모형선의 중간 정도의 값이 나오는 것으로 보아 잉여저항은 고속영역에서는 두 선체 사이의 거리가 멀어질수록, 그리고 저속영역에서는 그 거리가 짧아질수록 더 커진다는 것을 알

수 있다. 이는 Fig.7에서 보는 바와 같이 두 선체사이의 거리가 가까워질수록 두 선체 사이에서의 파간섭이 강해지고 이러한 파간섭이 저속영역에서 저항 특성에 미치는 영향이 크기 때문이라고 판단되며, 고속영역에서는 두 선체사이의 파간섭에 의한 저항특성보다 조파저항 특성이 강해지기 때문이라고 보인다. 이는 3차원 해석법에 의한 형상영향계수(Table 1)와 조파저항(Fig.8)의 비교에서 잘 설명되어진다. 형상영향계수는 Prohaska 방법으로 추정되었으며 수면경사와 같은 회류수조 고유의 특성이 포함되었으므로 통상의 예인수조에서의 결과와는 다소 차이가 있으리라 보여진다(Kawashima, 1993). 형상영향계수는 두 선체 사이의 거리가 가까워질수록 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 두 선체 사이의 거리가 가까워질수록 두 선체 사이에서 유동의 상호간섭이 증가하기 때문이라고 보이며, 반면에 조파저항은 고속영역에서 전반적으로 두 선체 사이의 거리가 멀어질수록 커지는 것을 알 수 있다.

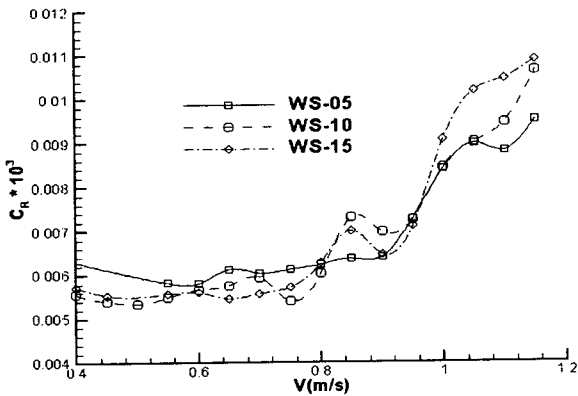


Fig.6 Comparison of residual resistance for WS-05, WS-10 and WS-15 models

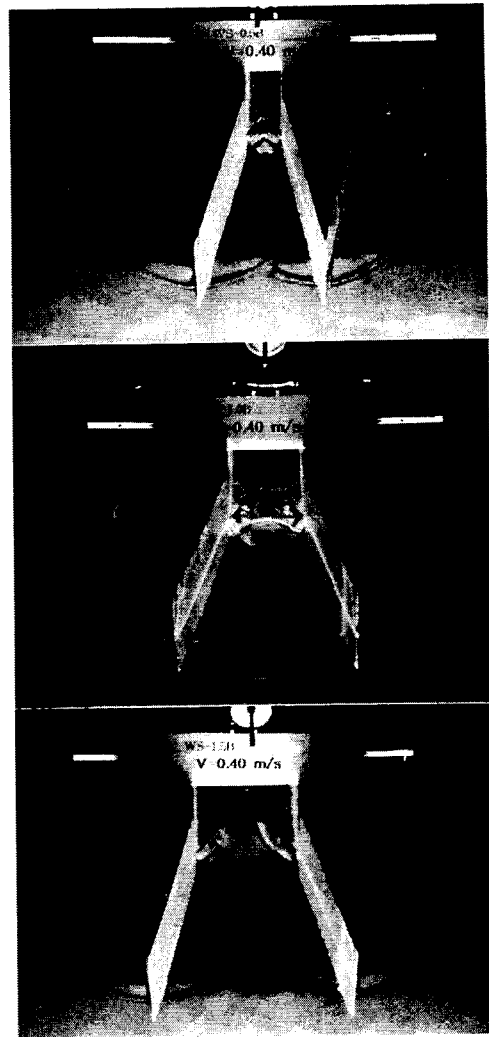


Fig.7 Comparison of free surface flows for WS-05, WS-10 and WS-15 (V=0.4m/s)

Table 1 Estimated form factors of WS-models

Model	Form factor(K)
WS-05	1.12
WS-10	1.02
WS-15	1.00

Fig.9는 WS-10과 WS-A-10의 전저항 비교를 보인다. 여기에서 WS-A-model은 선수부에 쓰레기를 모으는 역할을 하는 V형판이 운항중 닫혀있는 경우이다. WS-A-10의 경우가 약 50% 정도 저항값이 더욱 크게 나타났다. 그 이유는 Fig.10에서 보는 바와 같이 WS-A-10의 경우 실제선박의 운항중 나타나는 강한 선수파(Fig.3)와 유사한 쇄파의 발생으로 인하여 저항이 크게 증가했기 때문으로 보인다.

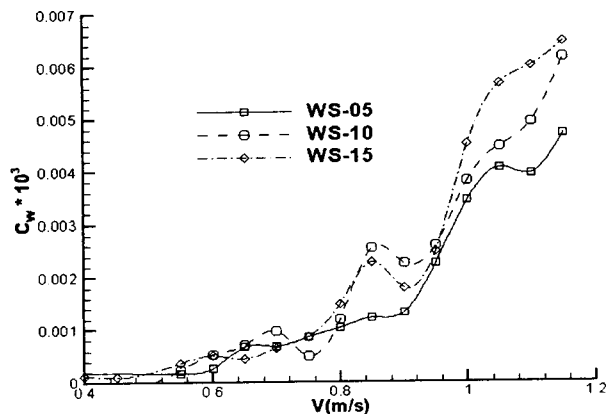


Fig.8 Comparison of wave resistance for WS-05, WS-10 and WS-15

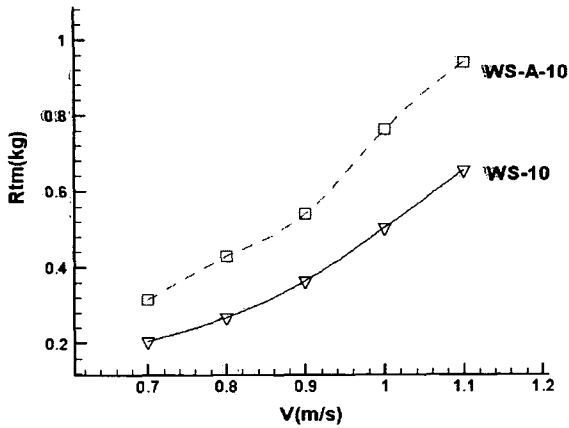
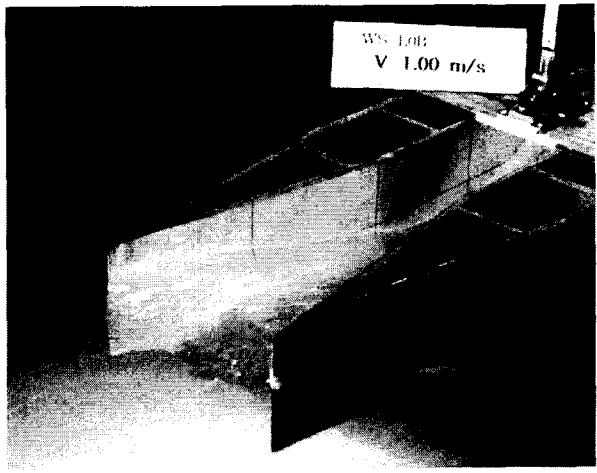
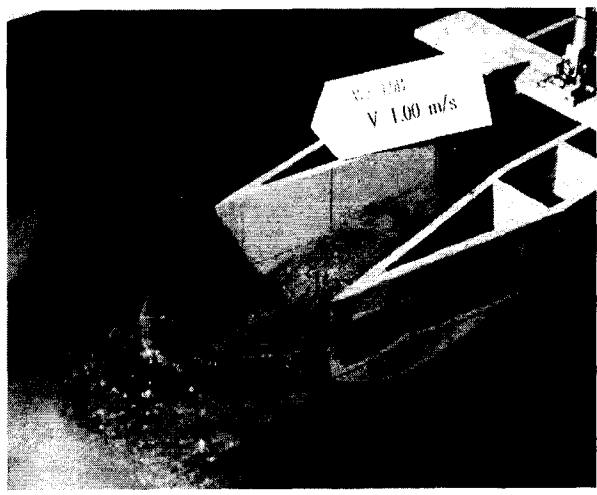


Fig.9 Comparison of Total resistance for WS-10 and WS-A-10

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.11은 WI-model의 두 선체 간격 변화에 따른 전저항 예측치를 보인다. 두 선체 사이의 거리가 가까워질수록 저항이 더욱 커지는 경향을 보이고 있다. 이는 WS-model의 경우와 반대되는 경향으로 그 이유는 Fig.12에서 보는 바와 같이 WI-model의 경우가 WS-model의 경우(Fig.10(a))보다 두 선체 사이에서 파간섭이 더욱 강하기 때문이고, 이러한 성분이 전체 저항에서 차지하는 비율이 WS-model의 경우보다 더욱 크기 때문으로 보여진다. 한편, WI-model의 경우는 WS-model의 경우(Fig.5)보다는 전반적으로 저항값이 더욱 크지만, WI-10과 WS-A-10(Fig.9)을 비교하여 보면 WI-10의 경우가 약 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.



(a) WS-10



(b) WS-A-10

Fig.10 Comparison of bow waves for WS-10 and WS-A-10, V=1.0 m/s

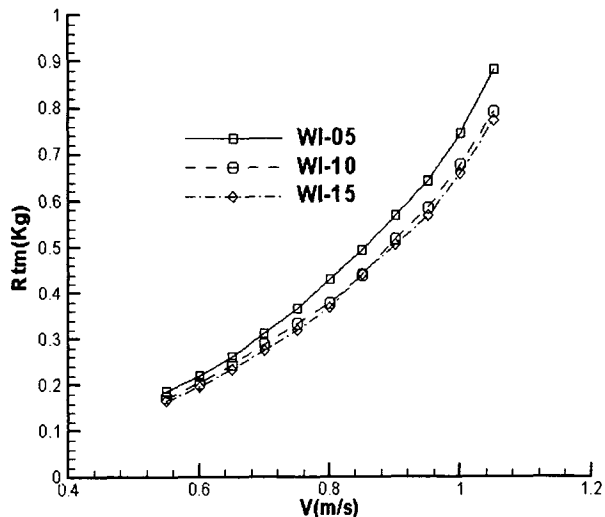
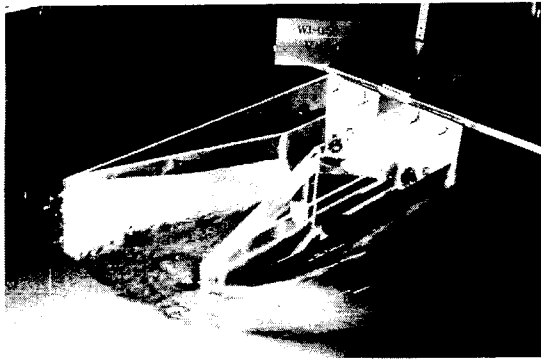
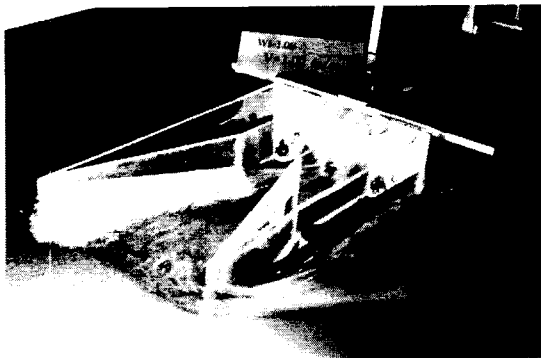


Fig.11 Comparison of total resistance for WI-models

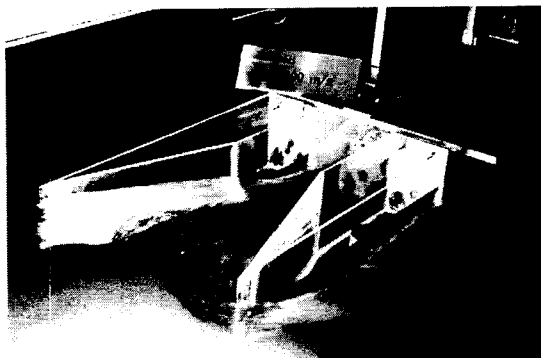
WI-model의 잉여저항을 Fig.13에 비교하여 나타내었다. 앞의 전저항 예측값에서 보는 바와 같이 WI-model의 잉여저항은 두 선체사이의 거리에 민감하게 변화함을 알 수 있다. 즉, 두 선체 사이의 거리가 가까워질수록 잉여저항은 급격히 커지고 있다. 특히 V=0.9m/s 이상의 비교적 고속영역에서는 급격한 저항증가가 보이는데 이는 두 선체 사이의 강한 파간섭 때문이라고 판단된다. 이러한 현상은 Kang 등(2000)의 상동선 연구결과에서도 나타나는 현상으로, 이로부터 두 선체 사이의 거리가 가까워질수록 흐름의 상호 간섭이 강해지면서 저항이 증가한다는 것을 알 수 있다.



(a) WI-05



(b) WI-10



(c) WI-15

Fig. 12 Comparison of free surface flows for WI-models, $V=1.0\text{m/s}$

Table 2 Estimated form factors of WI-models

Model	Form factor(K)
WI-05	2.01
WI-10	1.78
WI-15	1.67

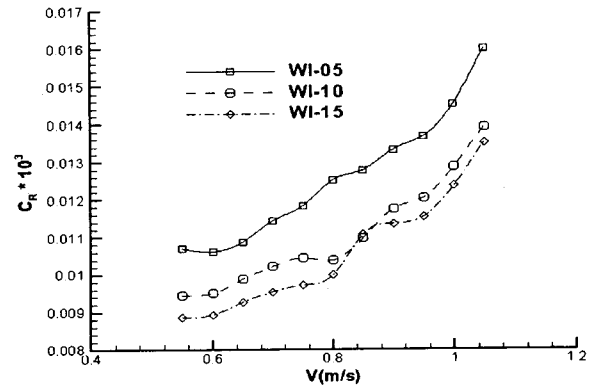


Fig.13 Comparison of residual resistance for WI-models

앞의 잉여저항 특성을 3차원해석법을 이용하여 형상저항과 조파저항으로 분리하여 해석하였다. WS-model의 경우와 마찬가지로 두 선체 사이의 거리가 가까워질수록 형상영향계수가 급격히 증가하고, 그 값은 WS-model의 경우보다 현저히 크게 추정되고 있다(Table 2). 그 이유는 앞에서 언급한 바와 같이 WI-model의 경우가 WS-model의 경우보다 두 선체 사이에서의 파간섭이 강하기 때문이라 판단된다. WI-model의 조파저항을 Fig.14에 비교하여 나타내었다. WI-05의 조파저항이 다른 두 모형보다 크고, WI-10과 WI-15의 경우는 유사한 크기를 보인다. 앞에서 언급한 바와 같이 두 선체 사이의 거리가 가까워질수록 두 선체 사이에서의 파간섭이 강해지기 때문에 조파저항이 증가할 것으로 예상하였으나 WI-10과 WI-15의 경우에는 큰 차이가 없는 결과가 나타났다. 그 이유는 이러한 상호간섭 효과가 형상영향계수에 영향을 주었기 때문에 조파저항에 주는 영향이 상대적으로 작아졌고, 좁은 수조 폭에 의한 측벽효과가 함께 작용했기 때문이라고 볼 수 있다(Tamura, 1972). 향후 이에 대한 더욱 자세한 연구/분석이 계속 수행되어야 할 것이다.

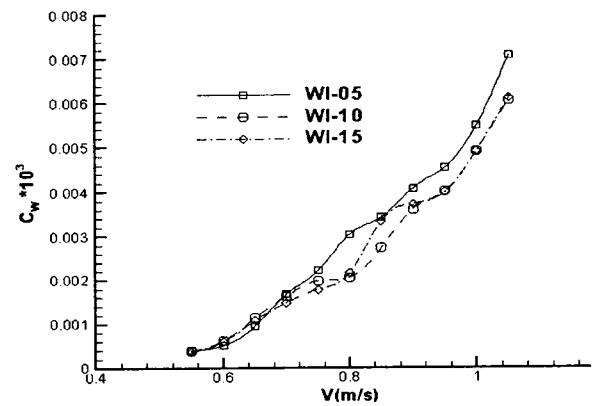


Fig.14 Comparison of wave resistance for WI-models

본 연구의 대상선박인 인천-938호 청소선이 쓰레기를 수거할 때 운항하는 선속(3-4노트)에 대응하는 실험조건인 $V=0.5\text{m/s}$ 에서의 자유수면 유동특성을 Fig.15에 나타내었다. 직선 줄무늬 스크린을 자유수면 위에 설치하고 유리로 된 수조의 바닥을 통하여 관찰한 것으로, 굴절된 직선의 형태로부터 자유수면의 형상을 파악할 수 있다 (Maruo and Ikehata, 1986; Jeong, 1996). 표면장력을 제거하기 위하여 계면활성제를 뿌려주면서 실험을 수행하였다 (Maruo and Ikehata, 1986). 선체 형상이 볼록한 부분 (꺾어진 부분)에서는 교란이 심하게 일어나고 있으나 벌어진 선수 부분에서는 특별히 복잡한 유동현상이 나타나지 않고 있다. 따라서 쓰레기를 수거하는데 특별한 어려움이 없으리라 판단된다.

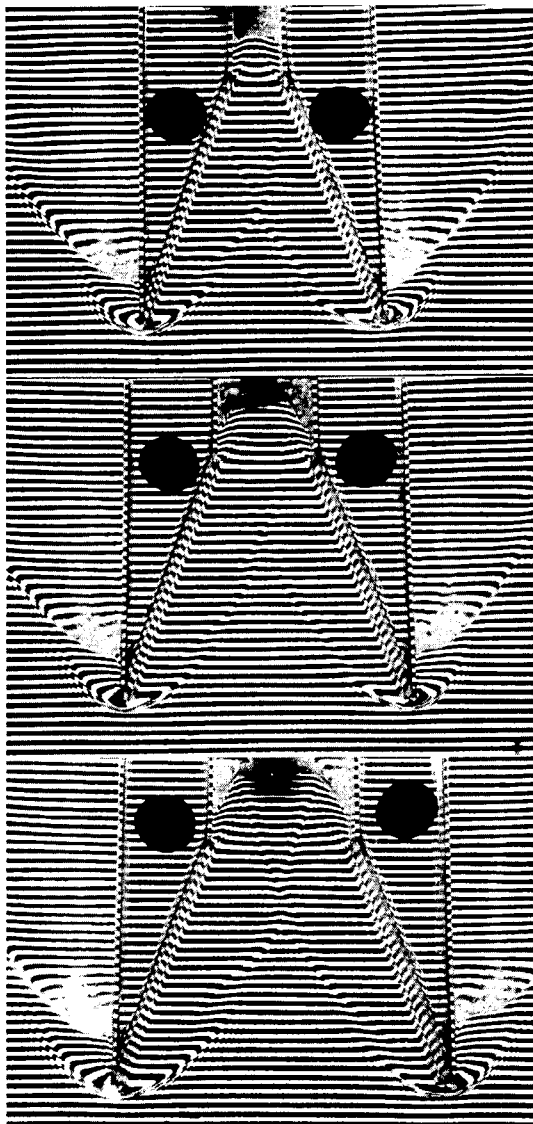


Fig.15 Comparison of free surface flows for WI-05, WI-10 and WI-15 from above, $V=0.5\text{m/s}$

따라서 WI-model과 같이 선수형상을 변화시키고 두 선체 사이의 거리를 적절히 조절한다면 운항중 저항성을 개선시킬 수 있을 뿐 아니라 쓰레기 수거에도 큰 무리가 없으리라 판단된다.

4. 결 론

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

후 기

본 연구는 「2000년도 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄사업」의 연구비 지원으로 수행된 "청항선의 skimming/removing 효율향상을 위한 선형개량" 결과의 일부이며 본 연구수행에 많은 도움을 준 인천지방중소기업청과 인천광역시 그리고 한국해양오염방제조항 인천지부 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 강국진 외(2000). "2500톤급 삼동선의 저항추진특성", 대한조선학회 춘계학술대회논문집, pp106-109.
- Baba, E.(1969). "A New Component of Viscous Resistance of Ship", J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 125, PP 23-34.
- Jeong, U. C.(1996). "Numerical Investigation on Vortical Flows and Turbulence beneath the free surface around Bows", Ph.D thesis, Hiroshima university, Japan.
- Kawashima T. et al(1993). "On Steady Wave and Free Surface Inclination in the CWC", J. of the Kansai Society of Naval Architects, Vol. 219, pp.25-36.
- Maruo, H. and Ikehata, H.(1986). "Some Discussions on the Free Surface Flow around the Bow", Proc. of 16th ONR, Berkeley, USA, pp 65-77.
- Tamura K.(1972). "Study on the Blockage Correction", J. of the Society of Naval Arch. Japan, Vol. 131, pp.17-28.