

거북선 형상의 다목적 부유식 해상쓰레기 소각선 개발

이귀주* · 류태호* · 박원미*
조선대학교 선박해양공학과

The Development of Turtle Boat Hull Formed Floating Type Multi-purpose Incinerating Vessel

Kwi-Joo Lee, Tae-Ho Ryu AND Won-Mi Park

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chosun University, Kwang ju 501-759, Korea

KEY WORDS : Resistance Test 저항시험, Circulating Water Channel 회류수조, incineration 소각, Floating Type Incinerating Vessel 부유식해상소각선, Turtle Boat 거북선

ABSTRACT: In these days, the pollution of marine environment near island at Korean coastal zone caused by the trash, human waste and livestock's excreta become series problem. One of the most economic and efficient way to prevent this pollution problem is to set up island circulating incineration system. In this paper, the results of feasibility study on the application of turtle boat hull form to the incinerating vessel has been summarized especially for the resistance and course keeping point of view.

1. 서 론

늘어가는 폐기물의 처리를 매립만으로 더 이상 해결할 수 없으며 재활용 또는 소각에 의한 처리가 필수적임은 누구나 인정하는 사실이다. 그럼에도 불구하고 매립장 입지는 물론 중간처리시설의 입지조차 극심해져 가는 님비(NIMBY)현상으로 구하기가 점점 더 어려워지고 있다.

폐기물 해상처리 시스템은 주거지역과 격리 설치되며, 폐기물의 해상 및 수로수송 등으로 도심이나 주택가를 우회함으로써 주민의 반발을 최소화 할 수 있다. 또한 좁은 국토 가용면적에 따른 설치 부지의 해소를 기대할 수 있고 관련시설의 집중화로 효율적인 운영이 가능하며 교통체증 해소에 기여하는 등 설비 개발 및 이용상의 많은 장점을 가지고 있다.

앞으로 우리나라도 선진 외국처럼 해상에서 쓰레기 및 오염물질을 소각시키는 분야에 대하여 많은 연구와 투자를 해야

할 것이다. 본 연구에서는 육상 및 도서지역을 쓰레기 소각선이 순회하여 분뇨, 축산폐수, 생활 쓰레기 등을 수거해 소각 처리하기 위하여 입진왜란 시 이순신 장군이 왜적을 물리칠 때 사용하였던 거북선 형상을 이용한 쓰레기 소각선 설계기법을 확립하기 위한 연구를 수행하였다.

만약에 거북선 형상의 쓰레기 소각선이 실제로 운항하게 된다면 거북선의 역사적 배경이나 독특한 형상으로 인하여 관광효과도 있을 것으로 기대된다.

본 연구에 이용된 선형 개발 방법은 모선의 윌셀 자료(off-set data)를 이용하여 Lackenby의 1-Cp 선형계획법으로 개발 선형의 Cp 및 LCB를 변화시키면서 그에 따른 선형을 생성하여 각각의 저항계수를 추정함으로써 이론상 조파저항 측면에서 최적의 선형을 도출하는 과정으로 수행하였다.

2. 1-Cp 선형계획법

(Lackenby's 1-Cp Method)

1. Cp-curve의 작성.

+ 이 논문은 한국학술진흥재단 연구비를 지원 받아 연구되었음.

* 조선대학교 공과대학 선박해양공학과

다음과 같은 방법을 이용하여 개발선형의 C_p , LCB, 기준선형의 C_p -curve를 이용하여 개발선형의 C_p -curve를 작성한다.

1) C_p 값의 차이를 이용한 수정

기준선형의 C_p -curve를 중앙부에서 선수와 선미 두 부분으로 나누어 각각 기준선형의 C_p -curve의 각 스테이션(station)에서의 횡단면적비 A/A_M 와 동일한 횡단면적비를 갖는 개발선형의 x -좌표 위치를 갖는다.

$$dx(\text{선수}) = \frac{\Delta C_p}{1 - C_{POF}} (1 - x_0) \quad (1)$$

$$dx(\text{선미}) = \frac{\Delta C_p}{1 - C_{POA}} (1 - x_0) \quad (2)$$

여기서

C_p, C_{PO} : 개발선형 및 기준선형의 C_p

ΔC_p : $C_p - C_{PO}$

C_{POF}, C_{POA} : 기준선형의 선수·미 C_p

x_0 : 선체중앙으로부터 기준선형의 임의의 스테이션(station)까지의 거리를 LBP로 나눈 무차원 수

d_x : 같은 횡단면적비를 갖는 기준선형의 스테이션(station) 위치와 개발선형의 좌표간의 거리

구하여진 새로운 선수·미 C_p 를 C_{PNF}, C_{PNA} 라 정의한다.

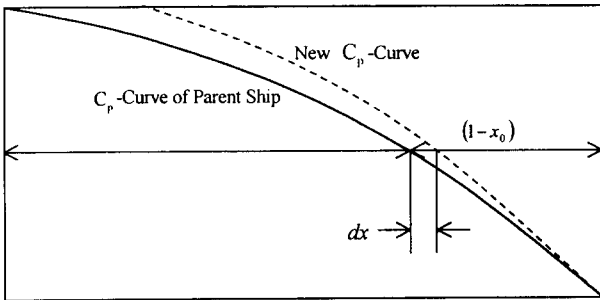


Fig. 1 Explanation of Variation

2) LCB 차이에 의한 수정

개발선형의 선수·미 C_p 를 C_{PF}, C_{PA} 라 하면

$$C_{PF} = C_p + Q \quad (3)$$

$$C_{PA} = C_p + Q \quad (4)$$

통계자료로부터

$$Q = 0.021 \cdot LCB + 0.0015 \quad (5)$$

개발선형의 LCB로부터 Q 를 구하면 C_{PF}, C_{PA} 을 계산할 수 있

다. $\Delta C_p, \Delta C_{PA}$ 는

$$\Delta C_{PF} = C_{PF} - C_{PNF} \quad (6)$$

$$\Delta C_{PA} = C_{PA} - C_{PNA} \quad (7)$$

앞 절에서 C_p 를 수정하여 계산한 기준선형의 새로운 C_p -curve와 이 절에서 LCB를 수정하여 계산되어질 개발선형의 C_p -curve간의 좌표값의 차이인 d_x 는

$$d_x(\text{선수}) = 2 \cdot \Delta C_{PF}(A/A_M) \quad (8)$$

$$d_x(\text{선미}) = 2 \cdot \Delta C_{PA}(A/A_M) \quad (9)$$

이 식에서 구한 d_x 만큼 각 스테이션(station)의 위치를 이동시켜 최종적인 개발선형의 C_p -curve를 작성한다.

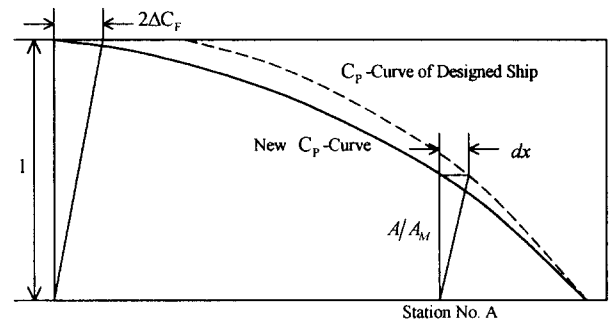


Fig. 2 Explanation of LCB Variation

2. Body Plan의 작성

기준선형의 CP curve 및 Body Plan을 이용하여 개발선형의 Body Plan을 구하는 방법은 다음과 같다.

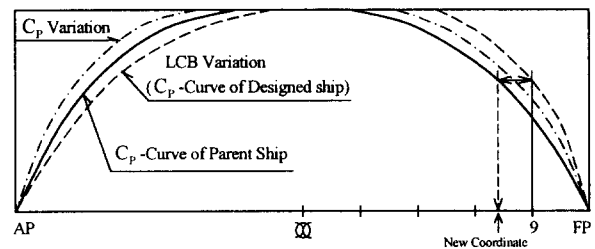


Fig. 3 Comparison of Cp curve

개발선형의 횡단면적비와 같은 횡단면적비를 가지는 기준선형의 좌표를 구한 다음 보간법을 사용하여 기준선형의 수선(water line)으로부터 개발선형의 각 스테이션(station)에서 반폭 Y_i 를 구한다. 필요한 수의 수선(water line)들에 대하여 이 방법을 반복하여 구한 값들을 연결하여 기준선형의 각 스테이션(station)에서의 프레임 라인(frame line)을 얻은 후 이 프레임 라

인(frame line)을 기준선형과 개발선형 간의 홀수비(d/d_M)와 반폭비(B/B_M)를 매개변수로 하여 개발선형의 프레임 라인(frame line)을 구한다.

$$Y_i = Y_{Mi} \times \left(\frac{B}{B_M}\right) \quad (10)$$

$$Z_i = Z_{Mi} \times \left(\frac{D}{D_M}\right) \quad (11)$$

여기서, Y_i : 개발선형의 각 스테이션(station)에서의 반폭
 Z_i : 개발선형이 각 수선(water line) 간의 간격

여기서 구해진 Y_i 값들을 조합하여 개발선형의 오프셋(off-set)을 구할 수 있다.

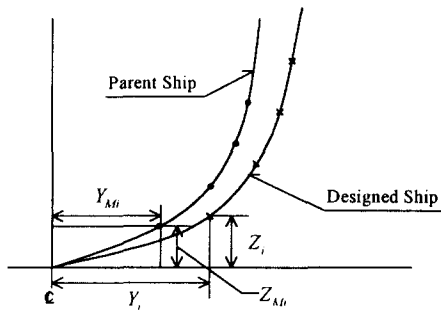


Fig. 4 Generation of New Frame line

3. 선형 개발

본 연구에서는 거북선의 선형을 복원하여 차기 개발할 해상소각선의 선형으로 채택하였으며, 복원된 거북선 선형의 재원은 Table. 1에 나타내었다.

Table. 1 Characteristics of Turtle Boat

LOA (m)	34.242
LWL (m)	25.480
B _{MAX} (m)	10.303
B _T (m)	3.840
D (m)	6.364
T (m)	1.500
L _{WL} /B _T	6.641
B _T /T	2.560
W.S.A (m ²)	261.860
▽ (m ³)	237.980
C _B	0.641
C _M	0.761
C _W	0.828
L _{CB} (m)	1.470
KB (m)	0.820

본 연구에 사용된 복원된 거북선 선형의 정면도는 Fig. 5에 나

타내었으며, 기본계산(Hydrostatic Calculation)프로그램인 SIKOB을 이용하여 거북선 선형의 기본계산(Hydrostatic Calculation)을 수행하였다.

앞 절에서 밝힌 1-Cp선형계획법에 의한 결과로 도출된 선도는 Fig. 5에서 점선으로 기준선형과 비교 도시하였다.

4. 모형 선

거북선 선형의 모형선(모형선 번호 : CU-020)은 마티카 목재를 이용하여 제작하였다. 모형선의 축척비는 1/30.0으로 하였고 실선과 모형선의 주요제원은 Table. 2에 정리하였다.

또한, 선체 주위 난류 유동을 발생시키기 위해서 모형선의 9, 9½ 스테이션에 직경 1.6mm, 높이 2mm의 난류 촉진용 못을 10mm간격으로 설치하였다.

Table. 2 Geometric characteristics of CU-020

Particulars	Turtle Ship	Model
LOA (m)	34.242	1.141
LWL (m)	25.500	0.850
B _{MAX} (m)	10.303	0.343
B _T (m)	3.840	0.128
D (m)	6.364	0.212
L _{WL} /B _T	6.641	6.641
B _T /T	2.560	2.560

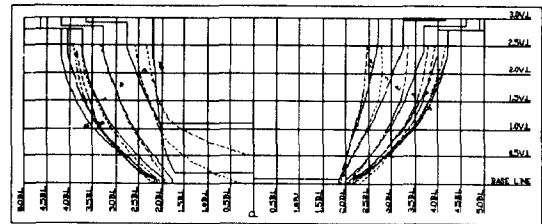


Fig. 5 Comparison of Body Plan

5. 시험수조의 특성

거북선 선형의 저항을 실험적으로 연구하기 위하여 조선대학교 회류수조에서 모형 시험을 수행하였으며 수조의 주요 특성 및 개략적인 형상은 Fig. 6과 같다.

Type : 2 impellers, vertical type
 L×B×D(whole body) : 14.8m×1.8m×3.7m
 L×B×D(measuring body) : 5.0m×1.2m×0.9m
 Velocity range : 0.4 ~ 1.8m/s
 Velocity distribution : within ±1.5% at 1.0m/s

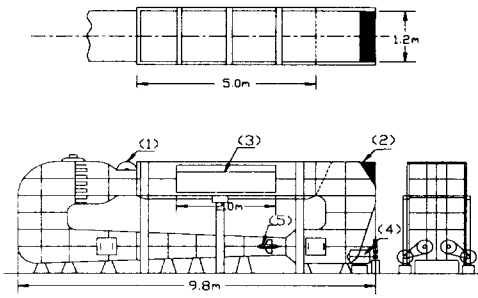


Fig. 6 Schematic diagram of CWC

6. 모형 시험

거북선 선형의 저항 성능과 계획된 흘수 1.5m의 경제성을 조사해 보기 위해서 1.2m, 1.5m, 1.8m의 세 가지 흘수에서 저항 시험을 수행하였다.

여기서

$$C_R = C_{TM} - C_{FM}$$

C_R : 잉여저항계수

C_{TM} : 모형선 전저항계수

$$(\text{=} R_{TM} / \frac{1}{2} \rho_m S_m V_m^2)$$

C_{FM} : ITTC-57 Line에 의한 마찰저항계수

$$(\text{=} 0.075 / (\log Rn - 2)^2)$$

R_{TM} : 모형선의 전저항 (N)

ρ_m : 수조수 밀도 (kg/m³)

Rn : 레이놀드수 ($\frac{V_m L_m}{\nu_m}$)

ν_m : 수조수 동점성계수 (m²/sec)

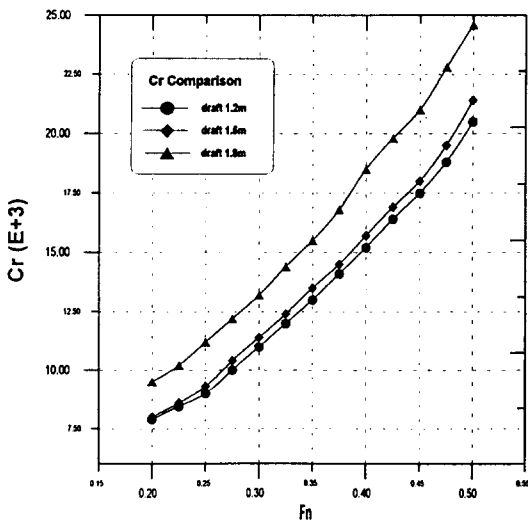


Fig. 7 Cr Curve

Fig. 7에 보인 바와 같이 흘수 1.5m에서 Cr값은 1.2m의 Cr값과는 차이가 많지 않았지만 1.8m의 Cr값과는 현저한 차이를 보이고 있어 1.5m의 흘수가 경제적인 흘수임을 보여주고 있다.

Table 3에 저항 시험 결과로부터 계산된 조파 저항계수들을 기준선형과 개발선형로 비교하였다.

Table. 3 The results of resistance Test at CWC

Vs (Knots)	$C_W \times 10^3$	
	Model Test	
	C_{WM}^*	C_{WD}^{**}
12.0	1.228	0.808
12.5	1.369	0.946
13.0	1.512	1.176
13.5	1.715	1.501
14.0	2.028	1.858
14.5	2.413	2.264
15.0	2.937	2.839

Note * : 기준선형의 C_w

** : 개발선형의 C_w

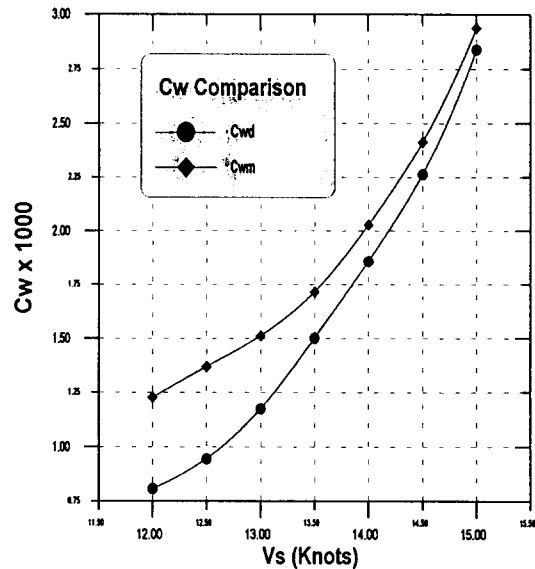


Fig. 8 Comparison of Cw

Fig. 8에서는 기준선형과 개발선형의 조파저항계수를 C_{wm} , C_{wd} 로 상호 비교하였다.

7. 소각 시스템 결정 및 설계

7.1 소각 대상 폐기물 및 소각로 선정

소각처리에 대상이 되는 폐기물은 목재, 종이류, 폐플라스틱, 폐고무, 슬러지 케이크류, Tar, Pitch, 폐유, 동식물성잔사 및 동물사체 등으로 소각처리방법은 처리대상 폐기물의 성질인 배출량, 물성, 연소공학적 특성에 적합한 것을 선택해야 하는데 일반적으로 국내외에 활용되고 있는 소각방법을 비교 제시하여 저산소 건류식 소각방법을 선정하였다.

7.2 소각의 기본이론

1) 소각의 3요소 (온도, 혼합, 시간)

유기성 가연물질을 연소시킬 때 연소효율, 연소 속도의 향상과 연소시간의 단축, 열효율 증대 및 배기 Gas의 청정화를 위해서는 온도, 혼합, 시간이 중요하다.

① 온도(Temperature)

가연물의 연소반응에 의하여 생성되는 열량이 계속해서 소각로를 빠져나가는 열량을 상회하도록 하여 로의 온도를 800~900℃로 유지해야된다.

② 혼합(Turbulence)

건조 효율, 건조 속도 향상을 위해 필요한 요소로 연소반응시 산소의 확산 도달계수를 보다 크게 하기 위해서도 혼합을 하며 물질표면을 노출시킬 필요가 있다.

③ 시간(Time)

연소시간을 단축시키기 위해서는 온도, 입경의 영향이 크지만 이들 조건을 만족하게끔 이상적인 설계하도록 연소에 필요한 연소체류시간은 확보하여야 한다.

2) 열분해 이론 (건류식)

고체연료를 가열하여 먼저 내장가스나 수분을 방출한 다음 열분해에 의해서 가스등을 발생시킨 다음 본래 원료 속에 함유되어 있던 회분의 대부분이 남아 있는 탄소를 주체로 고체연료를 형성하는 과정으로 폐기물의 가연성 성분을 저산소 상태에서 직접 혹은 간접열을 가하여 탄화시키는 것으로 산화에 의한 연소(직접 소각식) 시키는 방법과는 다르다.

7.3 소각로 선정기준

소각로의 선정기준은 첫째, 처리능력에 따라 연소실 열부하에 의한 방법과 소각율에 의한 방법. 둘째, 발열량에 따른 방법을 선정하였다.

1) 처리 능력의 계산

① 연소실 열부하에 의한 방법

$$\text{연소실 용적} = \frac{\text{폐기물저위발열량}(Kcal/Kg) \times \text{소각능력}(Kg/h)}{\text{연소실열부하}(Kcal/m^3h)}$$

② 소각율에 의한 방법

$$\text{화상면적} = \frac{\text{소각능력}(Kg/h)}{\text{연소율}(Kg/m^3h)}$$

2) 발열량 계산

- ① 고위 발열량(Hh)=8,100(c)+34,000(H-0/8)+2,500(S)Kcal/Kg
- ② 저위 발열량(Hl)=Hh-600(9H+W) Kcal/Kg

7.4 소각 방식의 결정

직접연소방식은 연기가 많이 발생하는 폐기물을 소각하기는 매우 어렵다. 왜냐하면, 순간적으로 급격히 발생하는 가연성 가스물질에 적정한 양의 공기를 순간적으로 급격히 공급하는 것이 어렵고, 가스와 공기혼합이 잘 이루어질 수 없기 때문이다.

이러한 문제를 2차 연소실을 만들어 해결하도록 해도 가스의 체류시간이 2차 연소실 자체만으로 3초 이상을 유지할 수 있도록 2차 연소실을 만들어야 하므로 경제적 타당성이 부족하다. 이를 개선코저 저산소 건류식 소각방법을 적용하였다. 1차 연소식(건류로)에선 쓰레기에 직접적인 화염이 존재하지 않고, 가연성 건류가스만이 발생하며, 2차 연소실에선 1차연소실에서 발생된 가연성 건류가스에 직접화염이 존재하면서 직연소하게 된다.

1) 저산소 건류식 소각로 특징

① 폐기물의 가연성 성분을 1차 Gas화하여 연소시키므로 완전연소가 가능하다.

② 직접연소가 어려운 고분자 및 난연성 폐기물등도 간접열전달에 의해 완전연소가 가능하다.

③ 승온 및 쓰레기 점화 시 약 10분간 연료만이 필요하며, 건류가스가 점화된 후에는 건류가스 자체가 연료가 되며 경유는 사용하지 않는다.

④ 별도의 잔류탄소 연소시간을 가지므로 해서 잔재량이 매우 적다.

⑤ 고온으로 완전연소하기 때문에 유해가스 및 악취성분은 열분해되어 2차 공해물질 배출이 없다.

8. 결 론

기존 거북선 선형은 8노트 정도에 항주가 적합하도록 설계된 것으로 추정되나 본 연구에서는 최근 추세에 맞추어 12~15노트 범위 항주에 적합하도록 선형을 수정하였다.

1-Cp 선형계획법에 의해 개발 선형에 대한 이론계산결과는 기준 선형에 대한 계산결과에 비하여 조파저항이 12노트에서 약 8.6%, 15노트에서는 약 6.9% 감소될 것으로 추정되었으나 모형시험(Model Test)을 통한 결과에서는 개발선형의 조파저항이 기준선형의 조파저항에 비해 12노트에서 약 34%, 15노트에서 약 3.4%의 감소하였다.

소각시스템은 폐기물이 함유한 가연성 성분을 밀폐된 용기

에서 소량의 연소공기(산소)를 공급하여 간접 혹은 직접 열을 가해 화학적 변화를 일으켜 건류 Gas를 발생시키고 2차 연소 실로 공급 후 최상의 연소 공기를 투입하여 자체 보유열 혹은 보조 연료를 이용하여 폐 Gas를 연소시키는 방법으로 직접 소각식에 비해 소각 열 효율이 높고, 배기 Gas가 청정한 장점이 있다.

참고문헌

- [1] Lunde, J. K., "On the linearized theory of wave resistance for displacement ships in steady and accelerated motion.", Presented at summer meeting of the Society of Naval Architectures and Marine Engineering in Washington D.C., September 6~7, 1951.
- [2] 이귀주, 최영빈, "거북선 형상의 해상소각선 실용화 가능성에 관한 연구", 한국해양공학회지 제 11권 제 3호, pp. 95~99, 1997. 8.
- [3] Bai, K. J., McCarthy, J. H., "Proceedings of The Workshop on Ship Wave-Resistance Computations", pp. 1~65, David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center.
- [4] Lee Kwi-Joo, "Application of the Finite Source Distribution Method to Selection of Least Wave-making Resistance Hull Form", Master's Thesis, Stevens Institute of Technology, 1984.
- [5] 단상호, "조파저항이론에 의한 선형개발에 관한 연구", 인하대학교 대학원 선박공학과 석사학위 논문, 1986. 2.
- [6] 선박교재연구회 편, "선형설계를 위한 조파이론의 응용", pp. 5~117, 인하대학교 출판부, 1994. 8.
- [7] 이건철, "1-C_p법과 유한소오스분포법을 응용한 최소조파저항선형 설계법에 관한 연구", 조선대학교 대학원 선박해양공학과 석사학위 논문, 1999. 2.