

실선시운전시험을 통한 예부선의 조종 특성 연구

† 윤근항 · 김연규* · 여동진**

† 한국해양연구원 연구원, * 책임연구원, ** 선임연구원

Maneuvering Characteristics of Tug-Barge from the Results of Sea Trial Test

† *Kun-Hang Yun · Yeon-Gyu Kim* · Dong-Jin Yeo***

† * ** *Korea Ocean Research & Development Institute, Daejeon 305-343, Korea*

요 약 : 예선이 부선을 선미예인하고 있는 상황에서의 예부선 조종특성을 확인하기 위하여, 예선 단독 실선시운전과 예부선 통합 실선시운전 시험을 수행하였다. 속력시험, 가감속시험, 10도 선회시험, 20도 선회시험, 10도 지그재그시험, 20도 지그재그시험을 통하여 다양한 상황에서의 예선과 부선의 운항 특성을 확인하였다. 그 결과, 부선이 선미예인되는 경우, 예선의 전술선회직경은 예선 단독운항일 때보다 증가하며, 선수동요각 변화율이 낮음을 확인하였고, 침로 변경을 함에 있어 부선의 선수동요각 변화가 늦고, 오버슈트각이 큰 것을 확인하였다. 또한 선회나 침로 변경 시, 부선의 선회궤적이 예선의 선회궤적 안쪽에도 존재할 수 있음을 확인하였다. 따라서 부선을 선미예인하는 운항자는, 선회 및 침로변경 시 예부선의 선회궤적, 예부선의 선수동요각 변화시간 및 오버슈트각이 증가하는 것을 충분히 인지하고 운항해야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 예선, 부선, 예부선, 실선시운전, 조종성능

Abstract : In order to investigate the maneuverability of tug-barge, sea trial tests such as speed, acceleration/deceleration, 10° turning, 20° turning, 10°/10° zigzag and 20°/20° zigzag were conducted with both tug and tug-barge. From the result of turning test, longer tactical diameter and lower rate of turn of tug-barge than those of tug are obtained. From the result of the zigzag test, bigger overshoot angle of tug-barge than that of tug is obtained. When they turned or changed a course, it showed that the barge turned inner side of the trajectory of tug. For the safe navigation, the helmsman of tug-barge should be aware of these maneuvering characteristics.

Key words : Tug, Barge, Tug-Barge, Sea Trial Test, Maneuverability

1. 서 론

예부선은 자력항행능력이 없는 부선과 이를 끌어당기거나 밀어 이동시키는 예선을 통칭하는 말로, 주로 모래, 원유 등의 화물을 이동하는 용도로 활용되고 있으며, 그 쓰임새가 다양하여 2000년부터 예부선의 등록 척수가 급증하고 있다. 이에 따라 충돌, 접촉, 좌초 등의 예부선 관련 사고도 지속적으로 발생하고 있는데, 이와 같은 사고의 원인은 주로 경계, 선위확인, 침로선정 유지 등 항해 일반 원칙의 미준수에 기인하고 있다.(국토해양부, 2010)

특히 예선이 부선을 선미예인하고 있는 경우, 부선의 운동은 예부선의 운항 상태 및 예인줄의 상태에 크게 영향을 받으므로(유·이, 2011) 운항자는 선미에 예인되고 있는 부선을 추가적으로 관찰하고, 예인 상태의 변화에 따라 예선을 적절하게 조종하여야 한다. 이와 같이 예부선의 운항 상황은 일반적인 상선의 단독 운항 상황과는 다른데, 이를 모사하기 위해서는 예선과 부선의 단독 운항 특성 외에도 예인줄에 의한 상호

간섭효과와 같은 추가적인 요소를 고려하여야 한다.(여 등, 2009)

한국해양연구원에서는 예부선의 사고분석 및 예방기술 개발에 대한 연구의 일부로 예선이 부선을 선미예인하고 있는 상황을 모사할 수 있는 수학적모형 및 시뮬레이션기법을 개발하고 있으며, 그 중 예선과 부선의 수학적모형을 정립하고 검증하기 위하여 다음과 같은 일련의 실험을 수행하였다.

예선의 단독 운항 상태에 대한 수학적모형 정립을 위하여 예선 모형의 구속모형시험, 예선의 실선시운전시험을 수행하였고, 부선의 운항 상태에 대한 수학적모형 정립을 위하여 부선 모형의 구속모형시험을 수행하였다. 또한 부선이 선미예인되고 있는 상황에서의 수학적모형 검증을 위하여 예부선 실선시운전 시험을 수행하였다.(윤 등, 2011)

본 연구에서는 이 중에서 예선의 실선시운전시험 및 예부선의 실선시운전시험을 통해 취득한 데이터를 분석하여, 예선과 예부선의 운항 상태에 대한 조종특성을 상호 비교함으로써, 그 운항특성을 확인하였다.

† 교신저자 : 연희원, khyun@kordi.re.kr 042)866-3650
* 종신회원, ygkim@moeri.re.kr 042)866-3642
** 연희원, Lonepier@moeri.re.kr 042)866-3644



Fig. 1. Series of experiments for tug-barge model

2. 예선 실선시운전

2.1 예선 제원

예선의 단독 실선시운전은 2010년 7월, 여수 근해역에서 수행되었으며, 실험에 사용된 예선의 제원은 Table 1과 같고, 그 모습은 Fig. 2와 같다.

Table 1. Principal particulars of tug

Displacement(ton)	152.0
Length(m)	25.8
Breath(m)	6.0
Depth(m)	2.7
Draft(m)	1.9
Rudder Area(m ²)	1.17×2EA
Maximum Speed(knot)	12.0
Operation Speed(knot)	10.0

실험에 사용된 예선은 프로펠러와 타가 선미 좌우현에 1개씩, 총 2개가 설치되어있으며, 약 1.7m의 선미트림상태로 운항된다.



Fig. 2. Figure of tug

예선에는 Fig. 3과 같은 계측장치를 설치하여 운항정보를 취득하였다. dGPS수신기를 이용하여 예선의 위치, 속도를 측정하였으며, 자이로센서를 이용하여 선수동요각을 측정하였고, 선박내 타각의 아날로그 전압신호를 이용하여 타각을 측정하였다.



Fig. 3. Maneuvering data acquisition system

2.2 예선 실선시운전 시나리오

예선의 조종특성을 확인하기 위하여 Table 2와 같은 일반적인 조종시험을 수행하였다.

Table 2. Scenario of sea trial test(tug)

Speed Test	- Maximum speed(Fwd., Rev.) - Speed/RPM relation(Fwd., Rev.)
Turning Test	- 5°, 10°, 20°, 30°, Max Rudder Angle - Speed : 3, 5, 7kts
Zigzag Test	- 10°/10°, 20°/20° - Speed : 3, 5, 7kts

2.3 실험결과

예선의 실선시운전시험 중 선회시험 결과(조류영향 보정)와 지그재그시험 결과를 Fig. 4, Fig. 5에 나타내었다.

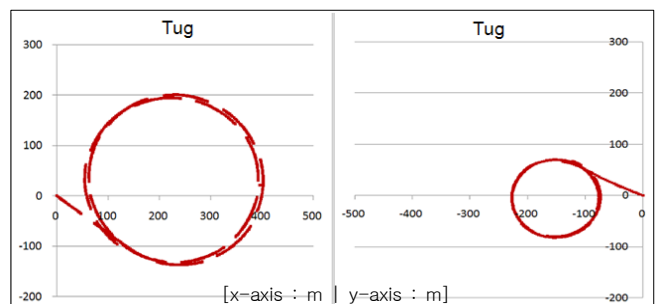


Fig. 4. Trajectory of turning test(tug) - 10°, 20°

Fig. 4에 나타난 선회시험의 경우, 실험예선의 일반적인 운항 상태인 약 7노트의 진입속도로 시험이 진행되었으며, Table 3과 같은 전술선회직경 결과를 얻었다. 10도의 타각을 사용하였을 경우, 예선 길이의 13.0배 정도의 전술선회직경, 20도의 타각을 사용하였을 경우, 예선 길이의 5.8배 정도의 전

술선회직경, 30도 타각의 경우 3.4배의 전술선회직경을 나타내었으며, 선회성능이 좋은 것을 확인할 수 있었다.

Table 3. Result of turning test(tug)

Rudder Angle	Tactical Diameter
10°	13.0 L
20°	5.8 L
30°	3.4 L

Fig. 5에 나타난 지그재그시험의 경우 역시 약 7노트의 진입속도로 시험이 진행되었으며, Table 4와 같은 1차 오버슈트 각 결과를 얻었다. 10°/10° 시험의 경우, 1차 오버슈트각이 약 4도, 20°/20° 시험의 경우 1차 오버슈트각이 약 12도로, 지그재그 시험 결과 역시 오버슈트각이 작아 지그재그성능이 좋은 것을 확인할 수 있었다.

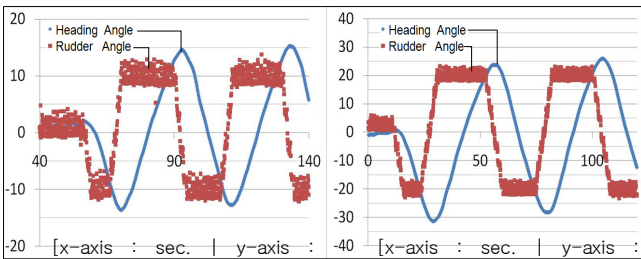


Fig. 5. Zigzag test(tug) - 10°/10°, 20°/20°

Table 4. Result of zigzag test(tug)

	1st overshoot angle
10°/10°	4°
20°/20°	12°

3. 예부선 실선시운전

3.1 부선 제원

예부선의 통합 실선시운전은 2010년 11월, 예선의 단독 실선시운전 장소와 동일한 여수 근해역에서 수행되었으며, 실험에 사용된 부선의 제원은 Table 5와 같고, 그 모습은 Fig. 6과 같다.

Table 5. Principal particulars of barge

Displacement(ton)	781.0
Length(m)	51.9
Breath(m)	15.0
Depth(m)	5.0
Draft(m, ballast load condition)	1.1
Operation Speed(knot)	5

실험에 사용된 부선은 2개의 선미 스케그가 설치되어 있으며, 발라스트 상태에서 시험이 수행되었다.



Fig. 6. Figure of barge(full load & ballast condition)

예부선의 통합 실선시운전에서도 앞서 소개한 동일한 계측 장치를 예선과 부선에 각각 1개씩 설치하여 운항정보를 취득하였다. 부선의 경우, 타각 신호를 받지 않았으며, 장력계를 설치하여 예인줄에 걸리는 장력을 측정하였다. 예선과 부선에서 각각 취득된 운항정보의 동기화는 GPS기록 시간을 서로 비교하여 이루어졌다.

3.2 예부선 실선시운전 시나리오

부선이 선미예인되는 상황에서의 예부선의 조종특성을 확인하기 위하여 Table 6과 같은 조종시험을 수행하였다. 지그재그시험의 경우, 예선의 선수동요각을 기준으로 실험할 경우 부선의 선수동요각에는 변화가 미미하여, 부선의 선수동요각을 기준으로 실험을 수행하였다.

Table 6. Scenario of sea trial test(tug-barge)

Speed Test	- Speed/RPM relation(Fwd.)
Turning Test	- 10°, 20° Rudder Angle - Speed : 6kts
Zigzag Test	- 10°/10°, 20°/20°(15°/20°) (barge heading angle) - Speed : 6kts

Fig. 7은 예부선 실선시운전 시나리오 중 선회시험 중의 모습이다. 그림에서와 같이 예인줄은 부선의 선수중양 한곳에 연결되어 있으며, 예선과 부선에 설치된 예인줄의 길이는, 실험에 사용된 실선에서 통상적으로 사용되는 예인줄의 길이인, 약 115m(부선 길이의 2.2배)로 하였다.



Fig. 7. Figure of turning test of tug-barge

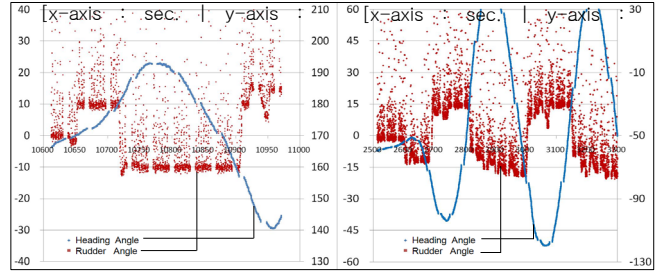


Fig. 9. Zigzag test(tug-barge) - 10°/10°, 20°/20°

3.3 실험결과

예부선의 실선시운전시험 중 선회시험 결과(조류영향 보정)와 지그재그시험 결과를 Fig. 8, Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 8에 나타난 선회시험의 경우, 약 6노트의 진입속도로 시험이 진행되었으며, Table 7과 같은 전술선회직경 결과를 얻었다. 10도의 타각을 사용하였을 경우, 예선은 길이의 24.4 배 정도의 전술선회직경(부선은 길이의 11.8배 정도의 전술선회직경), 20도의 타각을 사용하였을 경우, 예선은 길이의 9.0 배 정도의 전술선회직경(부선은 길이의 4.0배 정도의 전술선회직경)으로 예선 단독으로 선회한 것보다 전술선회직경이 증가하였다.

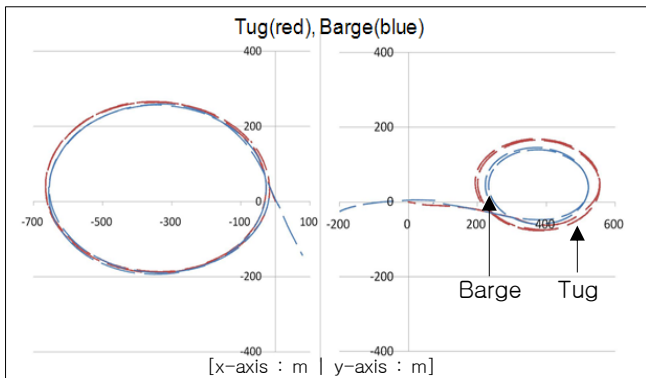


Fig. 8. Trajectory of turning test(tug-barge) - 10°, 20°

Table 7. Result of turning test(tug-barge)

Rudder Angle	Tactical Diameter(tug)	Tactical Diameter(barge)
10°	24.4 L (/tug L)	11.8 L (/barge L)
20°	9.0 L (/tug L)	4.0 L (/barge L)

Fig. 9에 나타난 지그재그시험의 경우, 약 5.5노트의 진입속도로 시험이 진행되었으며, 앞서 설명하였듯이, 예부선 실선시운전에서의 지그재그시험은 부선의 선수동요각 변화를 확인하기 위하여 예선이 아닌 부선의 선수동요각을 기준으로 시험이 수행되었다. 또한 20°/20°시험의 경우, 실제 사용된 타각은 20도가 아닌 15도임을 추후 데이터 분석에서 확인할 수 있었다.

Table 8과 같이 10°/10°시험의 경우, 1차 오버슈트각이 약 13도, 15°/20° 시험의 경우 1차 오버슈트각이 약 35도로, 부선 선수동요각을 이용한 지그재그시험결과를 직접 비교하기에는 무리가 있지만, 부선의 오버슈트각은 예선 단독 운항 시 예선 오버슈트각보다 큰 것을 확인할 수 있다.

Table 8. Result of zigzag test(tug-barge)

	1st overshoot angle
10°/10°	13°
15°/20°	35°

4. 실선시운전 결과 비교를 통한 예부선의 조종 및 운항특성

4.1 선회성능 결과

Table 9와 같이 예선이 부선을 선미예인할 때의 전술선회직경이 예선 단독 운항의 전술선회직경보다 약 1.7배 가까이 커진 것을 확인할 수 있다. 이는 부선이 예선의 선미에서 예인됨에 따라 예선의 선수동요각속도를 줄이는 방향으로 예인줄에 의한 선수동요 모멘트가 발생하고, 이는 결국 예선의 직진안정성을 높이기 때문이다. 20° 선회시험에 의하면 예선 단독 운항일 경우, 180도를 선회하는데 사용된 시간은 17초인 반면, 예부선 통합일 경우, 180도를 선회하는데 30초의 시간이 사용되었다.

따라서 운항자는 부선을 선미예인하면서 운항할 경우, 선회를 함에 있어 예선 단독 운항일 때 보다 궤적이 크며, 선회속도가 낮음을 인지하고 주의 깊게 운항해야 할 것으로 판단된다.

Table 9. Result of turning test(tug, tug-barge)

Rudder Angle	Tactical Diameter(tug)	Tactical Diameter(tug-barge)
10°	13.0 L (/tug L)	24.4 L (/tug L)
20°	5.8 L (/tug L)	9.0 L (/tug L)

4.2 지그재그성능 결과

Table 10과 같이 예선이 부선을 선미예인할 때의 부선 선수동요각의 1차 오버슈트각은, 예선이 단독으로 운항할 때의 예선 선수동요각의 1차 오버슈트각보다 상당히 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 4.1에서 설명한 선회성능 결과와 동일하게 예선의 예인줄이 부선을 당기는 힘과 그 방향이 전환되는 시간이 오래 걸리기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 10은 10°/10° 지그재그시험에서 예선의 선수동요각도 같이 표현한 것으로, 그림에서 보듯이 예선의 타각을 10도 변환한 뒤 예선의 선수동요각이 10도 변하는 데는 10초가 걸렸으나, 부선은 이보다 5.5배나 많은 55초가 걸렸다.

Table 10. Result of zigzag test(tug, tug-barge)

	1st overshoot angle(tug)	1st overshoot angle(tug-barge)
10°/10°	4° (tug)	13° (barge)
20°/20°(15°/20°)	12° (tug)	35° (barge)

따라서 운항자는 부선을 선미예인하면서 운항할 경우, 침로 변경을 함에 있어 예선 단독 운항일 때 보다 부선의 선수동요각 변화가 늦고, 오버슈트각이 상당히 크다는 것을 인지하고 주의 깊게 운항해야 할 것으로 판단된다.

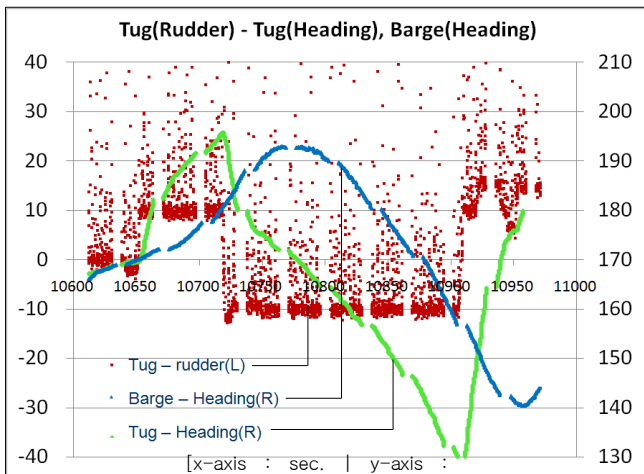


Fig. 10. Zigzag test(tug-barge) - 10°/10°

4.3 예선과 부선의 운항궤적

예선이 부선을 선미예인하며 선회를 할 경우, Fig. 11과 같이 부선의 선회궤적이 예선의 선회궤적 안쪽에 존재하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 지그재그시험의 운항궤적에서도 동일하게 부선이 예선의 선회궤적 안쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있다.

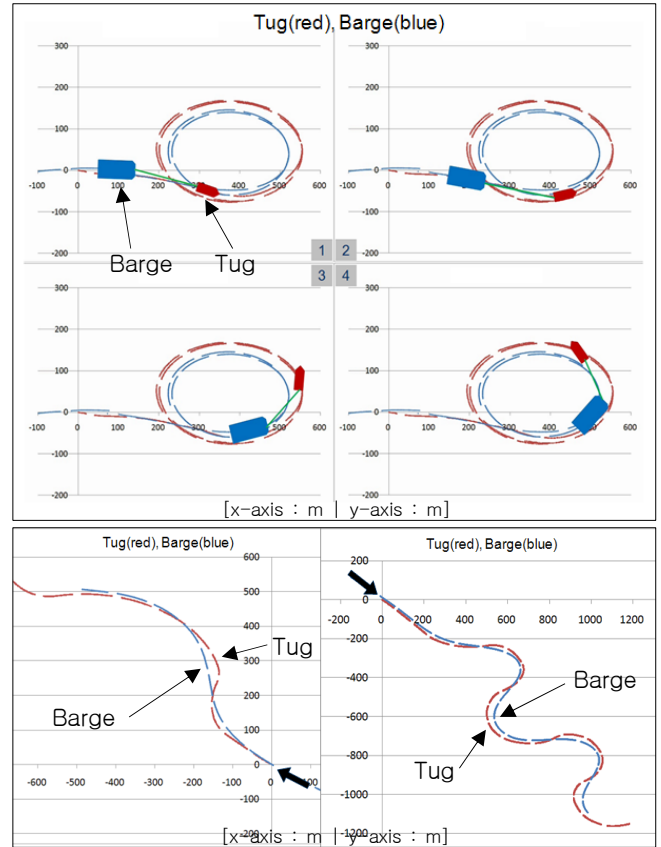


Fig. 11. Trajectory of turning test(tug-barge) - 20° Trajectory of zigzag test(tug-barge) - 10°/10°, 15°/20°

이는 일반적으로 예상할 수 있는 부선의 선미궤적, 즉 부선이 예선의 바깥으로 선회할 것이라는 예상과는 다르다. 이는 부선의 하부선형 및 적재상태 등에 따른 선박의 안정성과 예선과 부선의 예인 조건 등에 따른 결과로 판단된다. 따라서 이에 대한 경향을 확인하기 위해서는 추가적인 이론 연구와 실험이 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 예선이 부선을 선미예인하고 있는 상황을 모사할 수 있는 수학모형을 정립하고 검증하기 위한 목적으로 수행된 예선과 예부선의 실선시운전 결과 중, 선회시험과 지그재그시험의 결과분석을 통하여 다음과 같은 예부선의 운항 특성을 확인하였다.

첫째, 부선이 선미예인되는 경우, 예선의 진출선회직경은 예선 단독운항일 때 보다 증가하며, 선수동요각 변화율이 작다.

둘째, 부선이 선미예인되는 경우, 침로 변경을 함에 있어 예선 단독 운항일 때 보다 부선의 선수동요각 변화가 늦고, 오버슈트각이 크다.

셋째, 부선이 선미예인되는 경우, 선회나 침로 변경 시, 부선의 선회궤적이 예선의 선회궤적 안쪽에도 존재할 수 있다.

따라서 부선을 선미예인하는 운항자는, 선회 및 침로변경

시 예부선의 선회궤적, 예부선의 선수동요각 변화시간 및 오버슈트각이 증가하는 것을 충분히 인지하고 운항해야 할 것으로 판단된다.

향후에는 예인줄의 길이 변화, 부선의 배수량, 하부선형 변화 등 예부선의 운항 조건 변화에 따른 예부선의 운항 상태 변화에 대한 추가 연구가 필요하다.

후 기

본 논문의 내용은 한국해양연구원의 주요사업 “예부선의 사고분석 및 예방기술 개발(3/3)[PES141C]”, “제한수역에서의 선박 운항 시뮬레이션 기술 고도화(1/3)[PES149F]”의 연구내용을 일부 정리한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] 국토해양부 해양안전심판원(2010), 2010년 해양사고통계 자료, <http://www.kmst.go.kr>
- [2] 여동진, 한성환, 김동진, 김연규(2009), “예부선의 동역학 모델링 및 조종 성능 추정법 개발”, 한국항해항만학회 추계학술대회논문집, pp. 40-41.
- [3] 유철, 이상민(2011), “예인사 및 브라이들이 부선의 회두운동에 미치는 영향”, 한국항해항만학회지 제35권 제6호, pp. 483-488.
- [4] 윤근항, 김연규, 유계형(2011), “예부선의 통합 실선시운전 실험을 통한 조종 특성 연구”, 한국항해항만학회 공동학술대회논문집, pp. 451-453.

원고접수일 : 2011년 9월 22일

심사완료일 : 2012년 2월 17일

원고채택일 : 2012년 2월 20일