

항만 관제 정보 API를 이용한 체선율 분석 및 예측 시스템 -울산항을 중심으로-

홍석민*, 심수희*, 마선민*, 임지은*, 이예진*
*인하대학교 아태물류학부

austin970609@gmail.com, dbw06213@gmail.com, msm9702@gmail.com,
basovia@naver.com, 04770@naver.com

Integration Analysis and Prediction System based on Port-API

Suk-Min Hong*, Su-Hee Shim*, Seon-Min Ma*,
Ye-Jin Lee*, Ji-Eun Lim*

*Dept. of Asia-Pacific School of Logistics, Inha University

요 약

‘체선’은 입항한 선박이 하역하지 못하고 대기하는 상황을 나타내는 말이며 이는 항만의 비효율성을 초래하고 금전적인 손실을 가져다준다. 따라서 본 논문에서는 기존 관제정보 API를 활용하여 체선율 분석 및 예측 시스템을 제안하고자 한다. 이를 통해 항만 시설 관리자에게는 투자방향성을 제공하고, 선박과 화주에게는 물류효율성을 제공해 줄 것으로 기대된다.

1. 서론

항만의 기능은 화물의 단순 양적하 업무에서 국가 기간산업으로까지 그 기능이 확대되고 복잡해져왔다. 이러한 항만의 발전추세에 4차 산업혁명 기술이 접목됨으로써 스마트 항만¹⁾이라는 새로운 개념이 등장하였다.[1] 이를 위해 우리나라도 자동화, 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 정보통신기술(ICT) 등 여러 IT 기술을 도입하고 있는 실정이다. 또한 물류비용 최소화와 물류 효율화에 대한 요구가 증가하면서 물류관리에 관한 다양한 서비스가 등장하는 추세이다.[2] 그 중에서 체선율 예측 서비스는 해상운송에서 비용 최소화를 실현할 수 있는 방안이다. 체선이란 일반적으로 선박이 12시간 이상 항만에서 접안을 위해 대기하고 있는 상태를 말하는데,[3] 물동량이 늘어나면서 그에 따른 사회적 비용이 막대하다.[4] 기존 항만정보 제공 시스템은 단순하게 선박 관련 정보를 통합하여 제공하기 때문에 항만 운영자와 이용자가 사용하기에 번거롭고 활용도가 낮다. 이에 따라 본 논문에서는 체선율 개선과 사용자의 활용도를 향상시키고자 항만 관제 정보 API를 이용한 체선율 분석 및 예측 시스템을 제안하고자 한다.

2. 요구사항 분석

본 논문에서는 항만의 통합 체선율을 계산해 분석하고, 분석 결과를 바탕으로 예상 체선시간을 구하는 방법을 구현한다. 본 연구에서 제안하는 서비스는 사용자가 웹페이지에 접속하여 체선에 관한 정보를 알 수 있게 해주며 이를 참고해 체선 정보를 필요한 곳에 활용 할 수 있게 한다.

요구사항 ID	요구사항명	기능 ID	기능명	세부사항
VIS-01	데이터 가시화 서비스	01-1.1	화물별 가시화	선박에 선적한 화물의 종류별로 분류하고 초과 건수를 파이 차트로 시각화한다.
			장소별 가시화	선박의 정박지별로 분류하고 초과 건수를 파이 차트로 시각화한다.
			선박 톤수별 가시화	선박의 총 톤수별로 분류하고 초과 건수를 막대 그래프로 시각화한다.
			전체비율 가시화	울산항을 이용하는 선박들 중 체선이 발생하는 비율별로 시각화한다.
CAST-03	체선율 예측 프로그램	03-1.1	체선율 예측 서비스	선박의 기본정보(입항예정일시, 계선장소, 취급 화물, 선박톤수)를 입력하면 해당 선박의 정박지 대기 가능성과 대기시간을 예측하여 제공한다.

표1) 요구사항 정의서

3. 관련연구

이 프로젝트에서 사용한 기술들과 기반 연구들을 설명한다. 웹사이트를 만드는데 사용한 Django와 데이터 분석에 참고한 체선 및 체화비용 추정법에 대해 설명한다.

1) 4차 산업혁명 기술을 통해 자동·자율적으로 물류흐름을 최적화하는 항만

3.1 Django

Django는 파이썬 기반으로 작성된 오픈소스 웹 어플리케이션 프레임워크이다. 웹 개발에 있어서 콤포넌트의 재사용성과 플러그인화 가능성, 빠른 개발 등의 기능을 제공한다. 개발 방식으로는 MVT(Model-View-Template) 패턴을 따르고 있으며, 설정 파일부터 데이터 모델까지 Python 3.8.8가 사용되었다. 단순한 장고의 운영체제는 다음과 같다. 웹 브라우저에 HTTP 요청(Request)이 오면 장고로 전달된다. 그리고 만약 URL과 일치하는 패턴이 있으면, 장고는 해당 요청을 관련된 함수(view)에 넘겨준다. 그 다음 웹 브라우저에 응답(Response)을 반환하는데, 주로 동적인 HTML 페이지를 생성하여 응답한다.

3.2 체선 및 체화비용 추정법

체선비용 추정법은 화물 가치를 제외한 선박의 순체선비용을 추정하는 기법이다.[5] 해당 방식은 선박의 일일당 장기기회비용(LROC : Long-run opportunity cost)을 DWT에 대해 회귀분석하는 방법으로 선박의 통상 연간 가동일수인 350일과 자본회수계수를 적용한다.

$$Y = a \times X^b$$

Y: 선박 일일당 장기기회비용
X: DWT

$$CC = \frac{C_0}{1 - (1+r)^n} \times r$$

CC: 연간자본비용(Interest charge)
C₀: 초기투자 자본비
n: 선박의 경제적 내용년수
r: 사회적할인율

$$LROC = \frac{CC + OC}{350} + FC$$

OC: 선원비, 보험료, 수리비 포함 운영비
FC: 제항시 소요되는 연료비

화물가치와 사회적할인율의 곱을 선박운항 일수로 나누어 일일당 체화비용²⁾을 화물 종류에 따라 분석해 볼 수 있다. 2002년 조사된 선박정비[5]와 Clarkson Index를 참고하여[6][7] 사회적 할인율을 적용한 결과 추정된 화물품목 별 톤당 가치와 시간 단위 환산 금액은 표2)와 같다. 해당 자료의 시간당 화물비용과 최근 2년간의 울산항 관제데이터 분석을 통해 얻어낸 화물 종류별 대기시간 합을 곱하여 체선으로 인해 발생하는 실질적인 울산항의 손실액과 화물 종류에 따른 추이를 분석하고자 한다.

2) 밀려있는 화물에 대한 비용

품목	천톤	톤당 가치	2021년 물가반영	시간당 화물비용
컨테이너	82,514	1,905,144	3,113,005	26.6
일반화물	123,927	1,280,024	2,091,559	17.9
산화물	137,915	69,832	114,105	0.9
액체화물	225,243	224,922	367,522	3.1

표2) Time-cost by Cargo Type

4. 설계 및 구현

4.1 적용기술

해당 논문의 연구대상인 울산항만공사의 관제정보 데이터는 PORT-MIS에서 Open-API 형태로 제공하였으며 세부사항은 표3)과 같다.

적용기술	설명
Open API	PORT-MIS 데이터
AWS	RDS, EC2 클라우드 컴퓨팅 서비스
Django	웹 프레임워크
Python 3.8.8	프로그래밍 언어
MySQL	오픈소스 DBMS

표3) 적용기술 세부사항

4.2 데이터 분석

해당 논문은 2019년 1월부터 2021년 7월까지, 2년 7개월의 관제정보 데이터를 토대로 선박의 정박지 대기시간 증가에 영향을 미치는 변인을 파악하였다. 선박의 최종 목적지는 ‘계선장소’이다. 그러나 계선장소가 혼잡하면 선박은 대기장소인 ‘정박지’에서 체류하다가 계선장소로 이동하는 방식으로 운영되고 있다. 울산항만공사에 입항하는 선박 중 정박지를 점유하지 않고 계선장소로 직행하는 선박은 전체 입항 선박의 3분의 1 수준밖에 되지 않는다. 대부분의 선박은 입항 과정에서 일차적으로 정박지로 향하며 해당 논문은 이러한 유형의 선박 중 정박지에서 12시간 이상 대기한 선박을 체선이라 가정하고 분석하였다.

데이터 분석에 앞서 선박의 ‘입항’시간과 ‘양묘³⁾’시간을 1대1 매칭시켜 시간차를 구하였다. 이 둘의 시간차는 선박이 정박지에 머무른 시간을 의미한다.

시간	2021-07-30 20:15	2021-07-31 11:30
선박명	삼원	삼원
관제정보	입항	양묘
총 톤수	699	699
고유번호	130093	130093
입항횟수	49	49
시간 차	15 : 15	

표4) 입항·양묘 1대1 매칭 예시

3) 선박이 출항하기 전 닻을 감아올리는 작업

관제정보의 매칭 과정은 다음과 같다. 61,913개의 입항 데이터와 27,173개의 양묘 데이터를 선박 고유번호와 입항 횡수를 기준으로 1대1 대응시킨다. 입항 시간과 양묘 시간이 7일 이상 차이나는 경우 매칭을 생략하도록 설계하여 프로그램 구동 시간을 단축하였다. 매칭이 완료되면 입항 시간과 양묘 시간의 차를 구해 엑셀 파일로 추출하도록 설정하였다.

```

1 for i <-0 to end do
2   date_diff <- cal_time_diff(entry_time, depart_time)
3   if entry_time - depart_time > 7
4     do j <-i+1
5     date_diff <- cal_time_diff(entry_time, depart_time)
6     if entry_time - depart_time <= 7
7       //시간차가 7일 이하면
8       then ((df.iloc[i, 1]) == df.iloc[j, 15])
9       and (df.iloc[i, 6]) == df.iloc[j, 20]) //1대1 매칭
10      cal_time_diff(t1, t2)
11      date_diff <- t1 - t2
12      if date_diff < timedelta(days==0)
13        then date_diff <- t2 - t1
14      return date_diff
15  ws.append([date_diff]) //엑셀로 추출
    
```

표5) 데이터 사전작업 의사코드 Pseudo-code

입항시간과 양묘시간의 1대1 매칭 분석 결과는 그림1)과 같다. 선박용도는 선박에 실린 화물의 종류를 의미한다. 빈도는 체선이 발생한 횡수이며 비율은 입항 대비 체선 발생 비율이다. 선박용도(빈도) 그래프를 보면 체선이 발생한 선박 중 70%이상이 석유 및 케미칼 선박임을 알 수 있다. 선박용도(비율) 그래프를 보면 케미칼 운반선 및 케미칼 가스 운반선의 체선이 빈번함을 알 수 있다. 계선장소(빈도)는 선박용도(빈도)와 크게 다르지 않다. 그러나 계선장소(비율)를 보면 특정 부두에서 체선이 높은 비율로 발생한다는 사실을 알 수 있다.

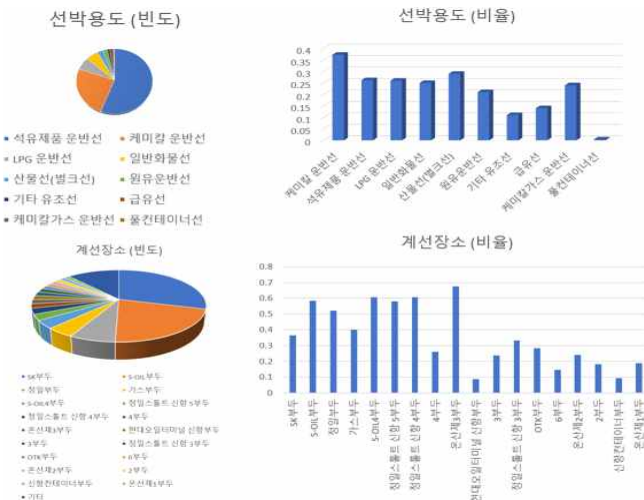


그림1) 체선율 분석 그래프

그림2)의 선박 톤수(빈도)는 선박의 총 톤수에 따라 체선이 발생하는 빈도를 구한 것이다. 해당 그래프에 따르면 1000~3000톤 급의 선박이 가장 큰 체선율을 보이며 점진적으로 줄어들었다가 25000~50000톤 구간에서 소폭 상승하는 것을 알 수 있다. 선박 톤수(비용)그래프는 각 구간별 총 대기 시간의 합과 총 선박 톤수의 합을 곱한 것이다. 그 결과, 1000~3000톤의 체선 비용발생은 전체 선박의 평균치와 근접해인데 반해 25000~50000톤 구간은 체선료가 크게 증가함을 알 수 있다.

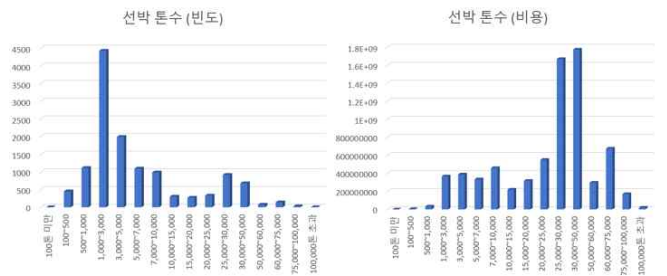


그림2) 체선 선박 톤수 분석 그래프

데이터 분석 과정에서 화물의 종류나 계선장소보다 선박 톤수로 인한 편차가 크다는 것을 인지하고 체선 및 체화비용 추정법을 활용해 화물의 종류에 따른 체선 비용을 산출하였다. 표6)에 따르면 액체 화물의 2년간 체선 비용 추정액은 789억으로 가장 많았으며 산화물이 일반화물에 비해 대기시간이 1.7배 정도 길었으나 선박 톤수 합과 시간당 화물비용이 현저히 낮아 일반화물에 비해 적은 금액이 발생한 것으로 보인다. 컨테이너 화물은 그림1)에서 알 수 있듯 체선 발생이 적어 비용이 거의 발생하지 않은 것을 알 수 있다.

화물 종류	톤수 합	시간 합	화물비용 (시간)	체선비용
액체 화물	98,803,429	612679:04:00	3.1	786억원
산화물	9,313,230	23737:19:00	0.9	1.9억원
일반화물	6,862,180	41352:50:00	17.9	50.7억원
컨테이너	347,468	578:49:00	26.6	535만원

표6) Cost Estimation by Cargo Type

4.3 체선 예측 알고리즘

본 논문에서는 선행된 데이터 분석 내용을 바탕으로 사용자에게 체선율을 예측해 제공하는 서비스를 제안한다. 해당 서비스는 사용자로부터 선박의 대기 시간에 영향을 미치는 변인에 대한 정보를 입력받는다. 그 후 해당 정보와 요인별 체선시간을 대응시켜 예상 체선율 및 체선시간을 계산하고 그에 따른 추정 비용을 출력한다.

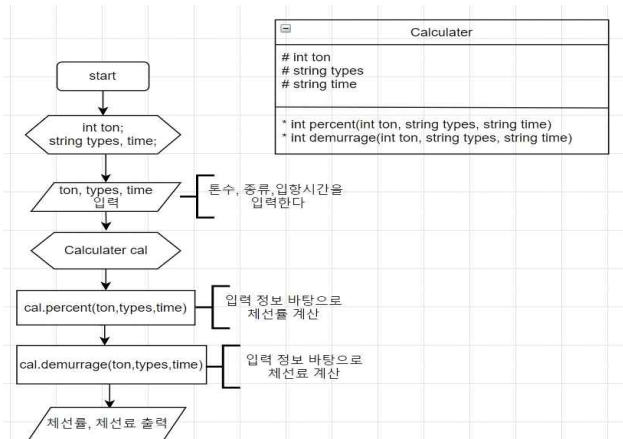


그림3) 알고리즘 Flowchart

4.4 웹사이트 설계

그림4)는 데이터 분석 결과를 시각화하여 보여주고 이용자의 선박 정보를 바탕으로 체선율 및 비용 예측을 제공하는 웹사이트의 구동 원리이다.



그림4) 웹사이트 구동원리

그림5)는 앞서 설명한 체선율 예측 서비스를 구현한 것이다. 사용자가 선박의 종류, 톤수, 입항 시간과 계산장소에 대한 정보를 입력하면 관련 예측치가 화면에 표시된다.



그림5) 체선율 예측 서비스 구현

5. 결론 및 향후 연구

국제적으로 스마트항만에 대한 관심과 연구가 진행되고 있으며, 이는 항만 운영의 효율성 증대 및 이익의 극대화, 효율적인 에너지 사용을 통한 친환경 항만을 구축하기 위함이다.[8] 이에 발맞춰 PORT-MIS와 같은 통합물류시스템이 등장하였지만, 단순하게 정보를 시각화하고 통합정보망을 구축한다는 점에서 항만 운영자와 이용자에 대한 제한적인 편의 제공과 사후 활용도에 대한 고려가 부족하다. 따라서, 본 논문에서는 체선 및 선박 혼잡도에 관련한 재가공된 데이터를 제공하는 항만 관제 정보 API를 이용한 체선율 예측 및 실시간 체선 모니터링 시스템을 제안했다. 이를 통해, 항만 시설 관리자에게는 투자방향성을 제공하고, 선박과 화주에게는 물류효율성을 제공해 줄 것이다. 또한, 울산항은 2020년 총 물동량 중 수출입 물동량을 1억 65백만톤까지 처리하여 국내 2위 자리를 차지하였는데 체선율 예측과 모니터링 시스템이 도입되면 136.6억 원에 달하는 경제적 이득을 취할 것으로 추산된다. 향후 연구에서는 내륙운송과 연계하여 해상과 육상운송 간 연동된 통합물류 시스템에 대한 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

- [1] 이언경·강무홍·이수영·강한석·전하림, A Study on the Improvement of Port Logistics Industry in the Era of the 4th Industrial Revolution, 한국해양수산개발원, p. 39, 2017
- [2] 한국교통연구원, Global Logistics Technology Trend, p. 1, 2021
- [3] Alan Abraham Mocatta, Mustill Michael J. and Boyd Steward C., Scrutton on Charterparties and Bill of Lading, 20th, London Sweet & Maxwell, p. 305, 1996
- [4] 이태희, Efficiency Analysis of Port Considering Congestion, 한국항만경제학회지, 제33집 제4호, 2017, p. 2
- [5] 장영태·성숙경, Revisit to Estimate the Time Cost of Ships and Cargoes, 한국항해항만학회지, 제26집 제4호, 2002, p. 385-389
- [6] 고병욱·안영균, A Study on Key Factors Affecting Global Chemical Carrier Freight Rates, 해운물류연구, 제34집 제2호, 2018, p. 259
- [7] 김승철·장홍훈·강효원, Evaluation and Analysis of the Cost of Power Outage in Gwangyang Container Terminal, 한국국제상학회, 제29집 제3호, 2014, p. 108
- [8] 최성희, An Empirical Study on the Difference in Perception of Introducing Smart Port between Port Operators and Users in Gwangyang Port, 한국항만경제학회지, 제36집 제3호, 2020, p. 12-13

-본 논문은 해양수산부 실무형 해상물류 일자리 지원사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.-