



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

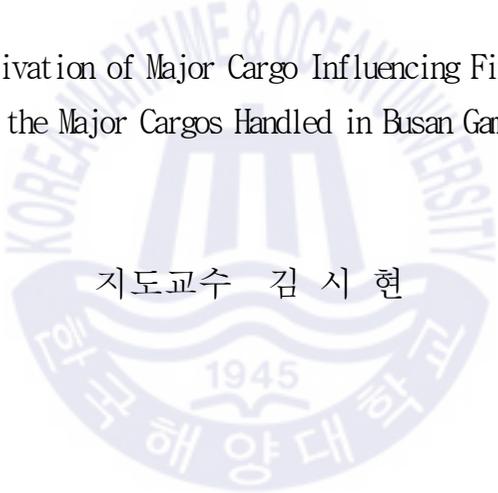
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

物流學碩士 學位論文

항만 내 미세먼지 주요발생 화물 도출에 관한 연구:
부산 감천항 주요처리 화물을 중심으로

A Study on the Derivation of Major Cargo Influencing Fine Dust in a Port:
Focused on the Major Cargos Handled in Busan Gamcheon Port



지도교수 김 시 현

2020年 02月

한국해양대학교 대학원

KMI-KMOU학연협동과정

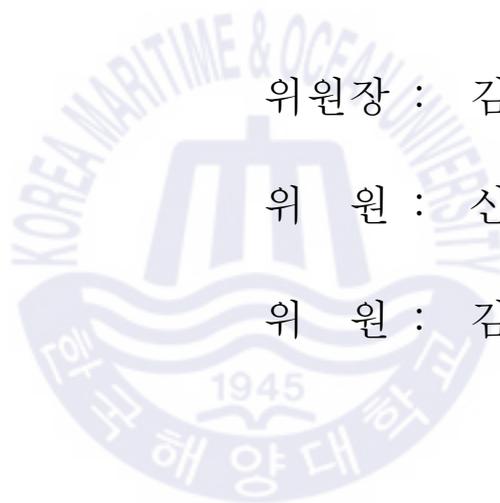
황 제 호

本 論文을 황제호의 物流學碩士 學位論文으로 認准함

위원장 : 김 환 성 (인)

위 원 : 신 창 훈 (인)

위 원 : 김 시 현 (인)



2019 년 12 월

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
Abstract	v
제 1 장 서론	1
1.1. 연구의 배경 및 목적	1
1.2. 연구의 절차 및 방법	3
제 2 장 선행연구 검토	5
2.1. 미세먼지의 정의	5
2.2. 항만과 도시의 관계	6
2.3. 인과관계 관련연구	9
제 3 장 분석방법론	12
3.1. 상관관계분석	12
3.2. 전이함수모형	13
제 4 장 감천항 운영현황 및 미세먼지 배출현황	15
4.1. 감천항 운영현황	15
4.2. 감천항 인근지역 미세먼지 배출현황	19
제 5 장 실증분석	21
5.1. 미세먼지와 항만 기후환경 간 상관관계	21
5.2. 미세먼지와 주요처리 화물 간 상관관계	25
5.3. 미세먼지와 주요처리 화물 간 인과관계	27
5.4. 미세먼지 입자크기에 따른 인과관계	36
5.5. 분석결과 요약	43
제 6 장 결론 및 향후 연구방향	45
6.1. 결론 및 시사점	45
6.2. 연구의 한계 및 향후 연구방향	46
참고문헌	47

List of Tables

[표 3-1] 상관계수에 따른 선형관계의 강도	13
[표 4-1] 감천항 일반부두 시설현황	15
[표 5-1] 기후변화 요인과 미세먼지 간 상관관계	22
[표 5-2] 계절성 조정 후 기후변화 요인과 미세먼지 간 상관관계	24
[표 5-3] 계절성 조정 후 기후변화 요인과 주요처리 화물 간의 상관관계	26
[표 5-4] 변수에 대한 기호	27
[표 5-5] 고철처리량과 PM 농도에 대한 시차별 상관분석	30
[표 5-6] 모래처리량과 PM 농도에 대한 시차별 상관분석	33
[표 5-7] 시멘트처리량과 PM 농도에 대한 시차별 상관분석	35
[표 5-8] 고철처리량과 PM2.5 농도에 대한 시차별 상관분석	38
[표 5-9] 고철처리량과 PM10 농도에 대한 시차별 상관분석	41
[표 5-10] 분석결과표	44



List of Figures

[그림 1-1] 연구의 절차	4
[그림 2-1] 미세먼지로 인한 건강악화 과정	6
[그림 2-2] 미세먼지로 인한 인체영향	6
[그림 2-3] 항만과 도시의 관계	7
[그림 2-4] 세계 10대 미세먼지 배출항만 분포자료	8
[그림 3-1] 표본의 상관계수 공식	12
[그림 3-2] 전이함수모형의 기본구조	13
[그림 3-3] 전이함수 개요	14
[그림 4-1] 감천항 조망도	16
[그림 4-2] 감천항 서편 야드맵	16
[그림 4-3] 감천항 인근지역 관측소 및 벌크화물 처리공장 조망도	17
[그림 4-4] 부산항 고철처리량	18
[그림 4-5] 부산항 모래처리량	18
[그림 4-6] 부산항 시멘트처리량	19
[그림 4-7] 신항 및 감천항 인근지역 미세먼지 농도	19
[그림 4-8] 신항 및 감천항 인근지역 PM2.5 농도	20
[그림 4-9] 신항 및 감천항 인근지역 PM10 농도	20
[그림 5-1] PM 시계열 분해결과	22
[그림 5-2] PM2.5 시계열 분해결과	23
[그림 5-3] PM10 시계열 분해결과	23
[그림 5-4] 기후인자와 미세먼지 간 상관관계(계절성 조정이전)	24
[그림 5-5] 기후인자와 미세먼지 간 상관관계(계절성 조정이후)	25
[그림 5-6] 발생미세먼지와 주요처리 화물 간 상관관계	26
[그림 5-7] 월별 고철처리량	28
[그림 5-8] 조정된 월별 고철처리량	28
[그림 5-9] 월별 PM 농도	29
[그림 5-10] 조정된 월별 PM 농도	29
[그림 5-11] 모래처리량과 PM 농도에 대한 전이함수 모형적합 진단	30
[그림 5-12] 평균이 '0'이 아닌 ARIMA(1,0,2)의 잔차	31
[그림 5-13] 월별 모래처리량	32
[그림 5-14] 조정된 월별 모래처리량	32

[그림 5-15] 모래처리량과 PM 농도에 대한 전이함수 모형적합 진단	33
[그림 5-16] 월별 시멘트처리량	34
[그림 5-17] 조정된 월별 시멘트처리량	35
[그림 5-18] 시멘트처리량과 PM 농도에 대한 전이함수 모형적합 진단	35
[그림 5-19] 월별 PM2.5 농도	37
[그림 5-20] 조정된 월별 PM2.5 농도	37
[그림 5-21] 고철처리량과 PM2.5 농도에 대한 전이함수 모형적합 진단	38
[그림 5-22] 평균이 '0'이 아닌 ARIMA(0,1,1)의 잔차	39
[그림 5-23] 월별 PM10 농도	40
[그림 5-24] 조정된 월별 PM10 농도	40
[그림 5-25] 고철처리량과 PM10 농도에 대한 전이함수 모형적합	41
[그림 5-26] 평균이 '0'이 아닌 ARIMA(0,1,1)의 잔차	42



A study on the Derivation of Major Cargo Influencing Fine Dust in a Port: Focused on the Major Cargos Handled in Busan Gamcheon Port

Je-Ho Hwang

*KMI-KMOU Cooperation Course
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University*

Abstract

The increasing air pollution from the ports has tightened the environmental regulations on bulk ports including the container ports. So advanced ports have been tried to reduce fine dust generated by operation. However, The responds of Busan Port are late compared to other advanced ports. So far, efforts have been made on politics and system areas to monitor and manage the port air pollution. The air quality improvement including port areas will be implemented starting 2020. People near the Gamcheon Port, where mainly handles the bulk cargoes in Busan Port, are damaged by fine dust from the port leading to endless conflict between Gamcheon port and people. Therefore, considering the seasonal weather conditions, this research analyzes the correlation between cargo throughput in Gamcheon port and the density of fine dust in adjacent area. Furthermore, It investigates the main cargoes generating the fine dust by ruling out the seasonal factors.

KEY WORDS: Gamcheon Port, Nearby Air Pollution, Fine Dust, Correlation Analysis,

Transition Fuction Model

제 1 장 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

1.1.1. 연구의 배경

국제적으로 항만도시로부터 발생하는 미세먼지에 의한 대기오염 심각성이 부각되기 이전부터 선진항만들이 위치하고 있는 미국, 중국, 일본, EU 등의 국가들은 항만에서 발생하는 미세먼지 발생량을 저감하기 위해 정치 및 제도적인 측면에서 다방면의 노력을 해오고 있었다.

하지만 우리나라의 경우, 현재까지 항만으로부터 발생하는 대기오염물질을 저감하고 효율적인 관리를 위한 체계가 구축되어 있지 않으며 부산항¹⁾은 2016년 중국 내 7곳의 항만을 포함하여 두바이 항만, 싱가포르 항만과 함께 세계 10대 초미세먼지 배출항만으로 지정되었지만, 항만의 대기질을 집중적으로 관리하기 위한 대책을 마련하지 못하고 있었다.

또한 2016년, 우리나라²⁾는 OECD(경제협력개발기구) 회원국들 중, 대기환경 부문에서 38위인 최하위를 기록할 정도로 대기환경이 매우 열악한 수준이었으며 초미세먼지의 경우, 평균 농도 ‘29.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’로 OECD 평균치인 ‘14.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’의 2배 수치를 기록하였다. 이는, WHO(세계보건기구)의 대기환경 미세먼지 농도 기준인 ‘10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’의 3배 수치에 근접한다.

더욱이 OECD³⁾는 향후, 우리나라의 대기환경이 개선되지 않는다면, 2060년을 기준으로 OECD 국가들 중에 조기사망률 1위 국가로 전락할 수 있음을 전망했다.

특히, 감천항은 벌크 위주의 화물을 처리하기 위한 전용부두로 컨테이

1) NATURE(2016.2)

2) Better Life Index(2016), OECD

3) The Economic Consequences of Outdoor(2016), OECD

너항만 지역보다 미세먼지 발생 농도가 상대적으로 높아 주변지역 주민들과 항만 내 작업자들의 건강에 악영향을 미치고 있다.

감천항은 근래에 항만개발 시, 인근지역에 대규모 아파트단지들이 없었지만 도시가 팽창함에 따라 도시계획에 따른 부산시의 승인으로 인근지역 아파트단지 내 총 3,683세대가 거주하고 있는 현황이다.

위 아파트들은 모두 감천항으로부터 2.5km 내에 위치하고 있으며 특히 e-편한세상 사하 아파트 단지는 감천항과 약 1km 근방에 위치하고 있기에 타 지역 대비, 감천항과 상대적으로 인접하여 항만을 비롯하여 발생하는 미세(비산)먼지가 주민들의 생활 및 건강에 직접적인 피해를 미치고 있다.

기후변화에 대한 대응과 항만 부문에서의 ‘그린포트 구축’이라는 세계적인 흐름에 따라 부산항도 IMO의 녹색해운을 위한 선박 온실가스배출 규제에 대한 대응뿐만 아니라, 장기적인 관점에서 항만으로부터 발생하는 대기오염물질 저감과 관리부분에 비중을 두고 단계적으로 개선방안 마련이 필요한 시점이다.

2015년 ‘글로벌 기후변화협약’의 강제 의무이행으로 기술적인 부문에서도 친환경 기술의 중요성이 대두되었으며 벌크항만의 경우, 현재의 물류환경과 하역 시스템에 대한 연관성 부분에 기술 도입을 통한 대기질 개선효과가 컨테이너항만에 비해 높을 것으로 판단된다.

1.1.2. 연구의 목적

최근 국민들의 대기공해에 대한 관심도가 높아짐에 따라 정부는 대기 중의 미세먼지를 저감하고 국민들의 관심에 대응하기 위한 대책의 하나로 2017년 9월 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」을 시행하였고 미세먼지 관리 및 감축을 위한 기반을 마련하였다. 또한 2018년 3월 「환경정책기본법」 개정을 통해 미세먼지 배출 환경기준을 강화하였다.

하지만 기존의 대기질 부분의 관리대상은 공장, 자동차에 집중되어 있었으며 항만과 선박에서 발생하는 미세먼지를 저감하기 위한 구체적인 내용들은 위의 특별법에 포함되어 있지 않았다.

따라서 항만에 대한 미세먼지 배출 현황 파악과 분석을 통해 이를 개선하기 위한 대응방안 도출이 필요하다.

우리나라는 내륙도시보다 항만도시의 대기환경이 상대적으로 열악한 실정으로 해양수산부는 그린포트를 구축하고 항만과 주변 인근지역의 대기질을 개선하기 위한 목적으로 2020년부터 수행되는 「항만지역 등 대기질 개선에 관한 특별법」을 제정하였지만 현재까지 컨테이너항만을 주요대상으로 하는 편향적인 환경정책 추진으로 벌크항만은 상대적으로 환경규제와 친환경 기술 개발/도입 측면에서 사각지대에 놓여있었다.

또한 대기환경 부문에 있어서 컨테이너항만 대비, 벌크항만에 대한 연구들이 상대적으로 적게 이루어지고 있는 상황으로 세계 교역량의 80% 이상의 비중을 차지하는 벌크화물과 환경개선에 대한 다양한 연구들이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 부산 감천항에서 처리되는 주요품목들을 대상으로 한 달 이내의 기간 동안, 감천항의 화물처리로 인해 감천항 및 인근지역에서 유발되는 직간접적인 활동들이 인근지역의 미세먼지 농도에 미치는 영향력을 분석하여 미세먼지 배출량을 저감하기 위해 우선적으로 고려되어야 할 화물품목을 도출하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 연구의 절차 및 방법

본 연구에서는 연구의 배경과 목적, 전반적인 연구의 절차가 서론을 구성하며 미세먼지에 대한 정의와 인체에 미치는 영향, 항만과 도시와의 상호관계, 두 변수 간의 인과관계를 도출하는 전이함수모형에 대한 선행연구 검토 후, 감천항의 운영현황과 인근지역의 미세먼지 농도 현황을 살펴

보고 감천항 내 미세먼지 주요발생 화물을 도출하기 위한 실증분석을 수행하고자 한다. 실증분석 절차는 미세먼지와 항만 기후환경 간 상관관계, 미세먼지와 감천항 주요처리 화물 간 상관관계, 미세먼지와 주요처리 화물 간 인과관계, 고철처리량과 미세먼지 입자크기에 따른 인과관계 도출 순으로 구성되며 결론에서 시사점과 본연구의 한계, 향후 연구방향을 서술한다.



[그림 1-1] 연구의 절차

연구의 목적을 달성하기 위해 2016년 1월부터 2019년 8월까지의 시계열 데이터를 사용하였다. 사용된 데이터의 종류는 4)감천항 인근지역의 미세먼지 데이터, 5)감천항의 기후에 관한 풍향, 풍속, 습도, 기온 시계열 데이터, 6)감천항 내 월별 주요처리화물 물동량 시계열 데이터이며, 분석을 수행하기 위하여 통계 소프트웨어인 ‘R Studio’ 를 사용하였다.

4) 부산광역시 보건환경정보공개시스템
 5) 기상청 국가기후데이터센터 기상자료개방포털
 6) 부산항만공사 BIG DATA 시스템

제 2 장 선행연구 검토

2.1. 미세먼지의 정의

일반적으로 먼지는 입자의 크기가 직경 50 μm 이하 총먼지(TSP), 직경 10 μm 이하 'PM10', 직경 2.5 μm 이하 'PM2.5' 로 구분되며, 공기 중에 부유되어 있는 고체나 액체의 입자(particle)들을 총칭하여 입자상 물질(PM: Particulate Mater) 또는 에어로졸(aerosol)이라고 한다.

발생원의 경우, 입자상의 형태로 직접 배출되는 1차 생성(직접배출) 에어로졸(Primary Aerosols)과 화학적 반응을 통해 기체가 입자로 변화되는 2차 생성 에어로졸(Secondary Aerosols)로 구분되며, 2차 생성(간접배출)은 황산화물, 질소산화물, 휘발성 유기화합물 등이 미세먼지로 변환되는 것을 의미한다.

세계보건기구(WHO)는 1987년부터 PM2.5, PM10에 대한 가이드라인을 제시하였으며 WHO의 산하 기관인 국제 암연구소(2013)⁷⁾는 PM2.5, PM10을 1군 발암물질로 지정하였다.

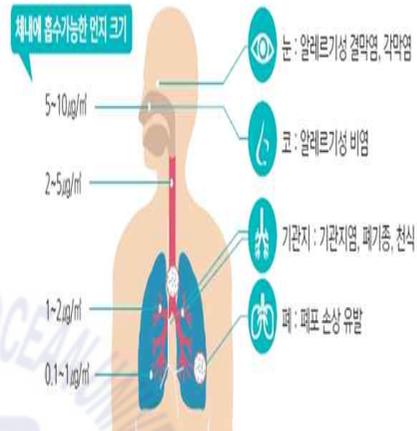
초미세먼지는 입자 직경이 2.5 μm 이하인 물질로 일반적인 미세먼지보다 상대적으로 입자 직경이 작다. PM2.5 와 PM10은 대기오염물질 중, 차지하는 비중이 약 9% 수준으로 낮은 편이지만 대기환경 및 기상에 미치는 피해가 심각하며, 표면에 중금속, 가스과 같은 오염물질들을 부착하고 있기에 인체에도 악영향을 미친다. 입자의 직경에 따라 폐에 깊숙하게 침투해 폐의 기능을 저하시키며, 독성이 강한 특징을 갖는다.

특히 미세먼지의 크기에 따라 폐에 미치는 영향이 상이하며, 보건복지부⁸⁾에서는 PM10 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하였을 때, 폐질환으로 입원하는 비율이 2.7% 증가하고, 사망률 또한 1.1% 증가하며 PM10의 대기중 농도가

7) 바로 알면 보인다. 미세먼지 도대체 뭘까?, 환경부, 2016.4

8) 항만지역 대기질 개선을 위한 데이터의 연계/활용방안 연구, KMI, 2019.9

10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하였을 때, 폐암유발의 위험도가 8% 증가하고, PM2.5의 경우 9% 증가하는 것으로 보고하였다.



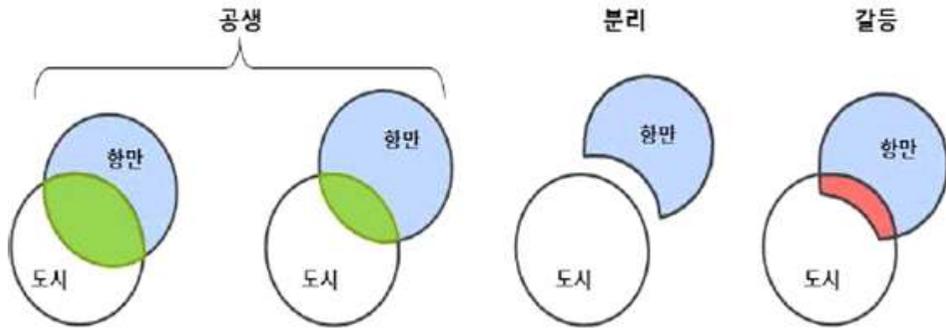
[그림 2-1] 미세먼지로 인한 건강악화 과정 [그림 2-2] 미세먼지로 인한 인체영향

2.2. 항만과 도시의 관계

우리나라에서 항만은 국내교역의 약 99% 이상을 담당하고 있으며 국가 경제 부문에서 중요한 역할을 수행해오고 있다. 또한 해운과 무역을 활성화하는 직접적인 기능과 이로부터 파생되는 연관 산업들을 발전시키는 부가적인 기능한다.

즉, 항만은 국제물류 거점기능, 경제적 기능, 항만도시조화 기능을 하며 이 외에도 광범위한 영역의 기능과 산업들이 항만을 통해 지속적으로 발전해오고 있다.

특히, 부산항은 지역경제 뿐만 아니라 국가경제의 성장에 있어서 중추적인 역할을 해오고 있으며 부가가치 창출액 수준도 타 항만들 대비, 높은 편이다.



자료 : OECD(2013), The Competitiveness of Global port Cities: Synthesis Report

[그림 2-3] 항만과 도시의 관계

항만과 도시간의 조화 측면에서 항만지역과 인근도시는 대상항만의 처리품목과 항만의 기능과 조화롭게 상호 발전해야 하지만, 일부 공해화물 또는 벌크화물을 처리하는 항만들은 악취, 소음, 분진발생 등의 문제를 발생시켜 지역사회와 갈등을 겪고 있으며 항만과 환경문제를 분리할 수 없게 되었다.

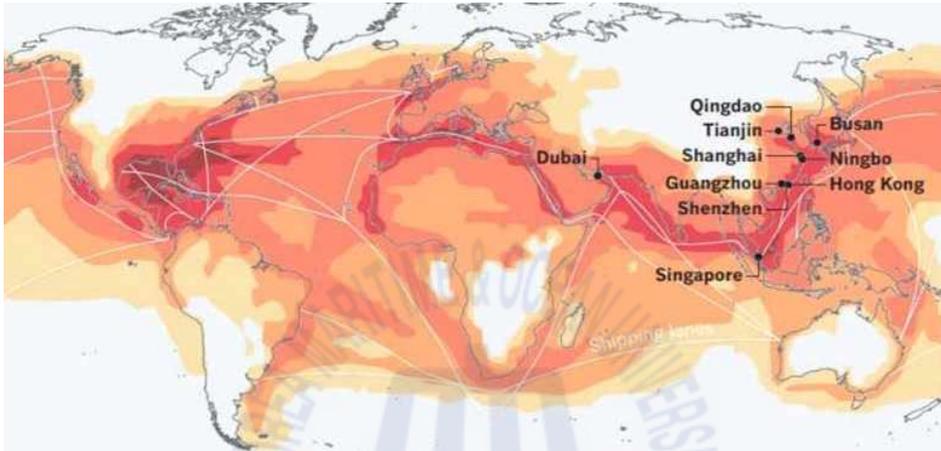
따라서 OECD(2013)는 항만과 도시와의 관계 변화를 상호발전관계, 항만의 규모증가로 인한 도시와의 분리단계, 도시영역의 확장에 따른 항만과 도시와의 갈등단계 순으로 정의하였고 갈등단계에서는 해결방안을 강구하고 마련해야 한다고 주장하였다.

김춘선(2013)은 항만과 도시와의 관계를 불가분의 관계로 표현하였으며 상호성장을 위한 총체적 환경을 조성하기 위해 다각적인 정책적 노력이 필요하다고 주장하였다.

조필규(2013)는 국민의 삶의 질 향상 측면에서 항만과 도시를 상생 및 협력해야 하는 관계로의 재조명이 필요하다고 하였다.

이정호, 최병대(2014)는 항만과 배후도시는 역사적, 문화적, 경제적, 제도적 요인들 간에 영향을 미치면서 상호적으로 변화하고 유기적인 발전의 제반조건으로써 정책적인 부분이 중요하다고 하였다.

Natuer(2016)은 전 세계적으로 내륙지역보다 항만이 위치한 해안지역의 미세먼지 배출 농도가 높다는 것을 [그림 2-4]를 통해 증명하였고, 미세먼지를 주로 발생시키는 배기가스, 유류연소, 공장매연, 건설현장 등의 원인보다 항만도시에서는 항만시설에 의해 발생하는 미세먼지의 비중이 높다고 하였다.



자료 : Z. Wan et al(2016)

[그림 2-4] 세계 10대 미세먼지 배출항만 분포자료

감천항의 경우, 고찰한 선행연구들을 바탕으로 항만과 도시와의 관계 측면에서 이례적으로 항만이 아닌 도시의 팽창으로 인해 항만과 주거지역의 접근성이 높아져 항만과 지역 간의 상충관계가 발생하였고, 근본적인 대책마련이 이루어지고 있지 않아 현재까지 문제가 지속되고 있는 것으로 판단되었다.

고철, 양곡, 석탄, 시멘트, 모래 등의 벌크화물을 취급하는 전용항만은 주로 분진성을 갖거나 고중량의 화물을 처리하는 특성이 있기에 전반적으로 미세먼지, 산화물 분진과 같은 대기오염물질이 많이 발생하며 미세먼지의 경우, 입자의 크기에 따른 피해가 상이하고 컨테이너항만보다 벌크항만에서 발생하는 미세먼지에 대한 문제가 심각하다는 점을 도출하였다.

결과적으로 항만과 도시 간의 갈등해결과 상생을 목적으로 하는 연구가 필요하다고 판단하였으며, 대기질에 개선이 필요한 도심지역(인근지역)을 중심으로 항만이 인근지역의 대기질에 미치는 악영향을 개선하기 위해 감천항의 주요처리 화물의 물동량 측면에서, 미세먼지 발생 영향인자화물을 도출하고자 한다.

2.3. 인과관계 관련연구

종속변수와 독립변수에 대한 시계열 데이터 간의 관계를 규명할 때는 일반적으로 상관관계와 인과관계로 구분하며, 상관관계는 독립변수와 종속변수의 인과관계를 나타내지는 않는다. 즉, 독립변수가 종속변수에 대한 원인으로 종속변수에 대한 선행조건이 독립변수가 된다는 의미이며 두 변수 간의 상관관계는 인과관계에 대한 ‘필요조건’으로 ‘충분조건’을 의미하지 않는다.

상관관계를 통해서는 변수 간의 연관성이 원인과 결과의 관계인지 판단할 수 없지만 인과관계의 경우, 독립변수의 변화가 종속변수의 변화에 직접적으로 영향을 준다는 것을 판단할 수 있다.

인과관계를 규명하기 위한 분석방법의 일환은 회귀분석이다. 회귀분석은 하나의 독립변수와 하나의 종속변수의 관계를 규명하는 단순회귀분석과 여러 개의 독립변수들과 하나의 종속변수의 관계를 규명하는 다중회귀분석으로 구분된다.

인과관계의 규명에 있어서 종속변수에 대한 독립변수의 영향력이 바로 나타나지 않고, 시차의 개념을 적용해야 하는 경우에는 향후의 기간들에 걸쳐 분포되는 시차분포모형을 기반으로 하는 전이함수모형과 Granger-인과관계 검정 등의 기법들이 있다.

Granger-인과관계 검정은 시계열 데이터가 정상적인 경우, 2가지 이상의 변수를 사용할 수 있으며 t-검정에 대하여 유의하고 변수의 다른 시차

들에 대한 값들이 F-검정에 따라, 모델의 검정력을 설명할 때 특정한 시차 값들이 회귀분석에서 유의함을 나타낸다. 하지만 Granger-인과관계 검정은 필연적인 인과관계를 나타내기 보다는 일정한 연관성을 통하여 인과관계를 식별하는 ‘Humean’에 의한 인과관계의 정의만을 충족시킨다. 기본적으로 2가지 이상의 변수에 대한 인과관계를 검정하기 위해 설계되어 있고 관계를 규명하기 위한 변수들이 추가될수록 통계적 수치에 대한 해석에 어려움이 있다. 또한 Granger-인과관계 검정은 시차에 대해 ‘시계열 데이터 셋 1’과 ‘시계열 데이터 셋 2’에 대하여 ‘데이터 셋 1’이 ‘데이터 셋 2’의 몇 시차 지점까지 영향을 주는지, ‘데이터 셋 2’이 ‘데이터 셋 1’의 몇 시차 지점까지 영향을 주는지에 대한 양방향 검정을 필요로 하고 모든 시차(1~N)들에 해당하는 모든 데이터를 활용해야 한다. 즉, 특정한 ‘N’ 시차지점에 대한 영향이 아니라 ‘N’ 시차지점까지 영향력이 있는지에 대한 검정을 수행한다.

그러나 전이함수모형은 ‘시계열 데이터 셋 1’을 바탕으로 전이함수모형을 구성하여 ‘시계열 데이터 셋 2’를 설명하기 위한 검정으로 변수 간의 관계가 ‘변수 1’은 ‘변수 2’에 영향을 주지만 ‘변수 2’는 ‘변수 1’에 영향을 주지 않는다는 가정 하에 수행되며, 특정 시차지점에 대한 ‘변수 1’이 ‘변수 2’에 미치는 영향력을 확인할 수 있다.

전이함수 모형을 활용한 선행연구 사례는 아래와 같다.

류병로 외(1998)은 월 수온 및 용존산소 자료에 대해 교차상관분석 방법을 통하여 월 수온을 독립변수, 월 용존산소량을 종속변수로 하는 전이함수 잡음모형을 구축하였다.

김유근 외(1999)는 전이함수모형을 응용하여 오존예보시스템을 보완 및 개선할 수 있는 서울지역의 지표오존 단기 예보모형을 구축하였다.

이관형 외(2000)은 산업재해 발생패턴과 설명 가능한 발생구조, 미래시점의 재해발생 예측에 있어서 산업재해 발생에 직간접적으로 영향을 줄 수 있는 노동경제지표를 입력계열로 한 전이함수 모형을 통해 예측을 수

행하였다.

김상아 외(2003)은 국민의료비 절감을 위한 정책방향에 대한 연구 중, 국민의료비 정책연구의 기본자료 축적을 목적으로 전이함수모형을 이용하여 국민의료비 중장기 예측을 수행하였다.

최경문 외(2008)은 토양수분의 측정 시스템을 구축하고, 시간에 따른 실측 토양수분값을 지점별로 획득하여 강우 데이터를 입력변수로, 실측한 토양수분 데이터를 반응 변수로 하여 전이함수 모형 전개를 통해 토양수분과 강우의 상관관계에 따른 토양수분의 분포 양상 및 계절적 변화를 고찰하였다.

유현상 외(2010)은 출생자수에 영향을 미치는 잠재변수를 이용하여 분석한 전이함수 모형과 ARIMA모형을 비교하여 연구에서 사용된 데이터에 대해 전이함수 모형이 더 적합함을 증명하였다.

임성식(2013)은 주택가격지수를 예측하기 위한 모형구축에서 주택가격 지수에 중요한 영향을 미치는 외부변수들을 파악하고 향후 주택가격지수를 효율적으로 예측하기 위한 시계열 모형 중 전이함수모형이 예측력이 높음을 증명하였다.

항만과 미세먼지의 관계에 대한 선행연구들을 검토한 결과, 항만에서 처리되는 물동량이 인근지역 미세먼지 농도에 미치는 영향력을 인과관계 측면에서 다룬 논문은 전무하였다.

따라서 본 연구에서는 감천항의 주요처리화물 물동량으로부터 항만 내외적으로 발생하는 파생적인 작업, 활동들이 한 달 이내, 인근지역의 미세먼지 농도에 미치는 영향을 파악하는 것을 목적으로 독립변수 시계열 데이터인 ‘월별 주요화물 처리량’ 이 종속변수 시계열 데이터인 ‘월별 미세먼지 농도’ 에 미치는 시차를 한 달로 고정하고, 독립변수는 종속변수에 영향을 미치지 않지만 종속변수는 독립변수에 영향을 미치지 않는다는 가정 아래 분석을 수행하기 위해 전이함수모형을 활용하였다.

제 3 장 분석방법론

3.1. 상관관계분석

상관관계분석은 두 변수 간의 선형적 관계를 분석하는 방법으로 독립적인 두 변수의 관계강도를 ‘상관관계’라고 한다. 이 때, 두 변수 간의 관련성을 구하기 위한 보편적인 척도는 정규분포의 선형관계를 나타내는 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient)이며 상관계수의 범위는 ‘ $-1 \leq R \leq 1$ ’로, 표본에 대한 상관계수의 수식은 [그림 3-1]로 표현된다. 상관계수는 피어슨 상관계수를 포함하여 정규성을 만족하지 않는 비모수적 단조관계를 나타내는 스피어만 상관계수(Spearman's rank correlation coefficient), 켄달 상관계수(Kendall correlation coefficient)로 분류된다.

$$r = r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

[그림 3-1] 표본의 상관계수 공식

측정된 값이 상관도 좌표상의 양의 기울기를 갖는 직선에 가깝다면 ‘양의 상관관계’를 나타내고 음의 기울기를 갖는 직선에 가깝다면 ‘음의 상관관계’를 나타내며 선형적인 상관관계를 형성하지 않는 경우 상관계수는 ‘0’에 수렴한다.

또한 양의 선형관계와 음의 선형관계에서 상관도의 점들이 직선을 중심으로 몰려있는 정도에 따라 강한 상관관계, 약한 상관관계를 확인할 수 있으며 [표 3-1]은 상관계수의 값에 따른 선형관계의 강도를 나타낸 것이다.

[표 3-1] 상관계수에 따른 선형관계의 강도

상관계수(R)의 범위	선형관계의 강도
-1.0 ~ -0.7	강한 음의 선형관계
-0.7 ~ -0.3	보통의 음의 선형관계
-0.3 ~ -0.1	약한 음의 선형관계
-0.1 ~ +0.1	상관관계가 없음
+0.1 ~ +0.3	약한 양의 선형관계
+0.3 ~ +0.7	보통의 양의 선형관계
+0.7 ~ +1.0	강한 양의 선형관계

3.2. 전이함수모형

단변량 시계열분석에서는 시계열 데이터가 자신의 과거항들과 오차항들에 의해 설명된다. 그러나 분석대상의 시계열 데이터와 밀접한 관계가 있는 한 개 이상의 다른 시계열 데이터가 있을 때는 다른 시계열 데이터들에 포함되어 있는 정보를 이용하여 시계열 데이터를 분석할 때, 좀 더 나은 결과를 도출할 수 있고, 전이함수 모형은 한 시계열 데이터를 분석하기 위해서 다른 시계열 데이터를 이용하는 모형들 중 하나로 시차회귀분석이라고 한다.

전이함수모형의 기본구조와 개요는 [그림 3-2], [그림 3-3]으로 표현된다.

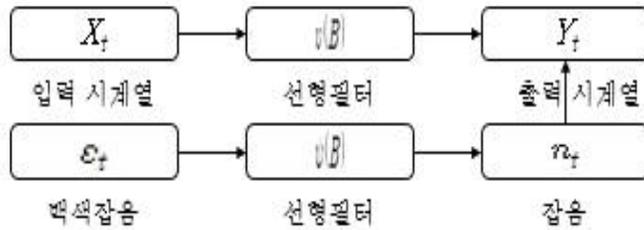
$$Y_t = \sum_i v_i(B)X_{i,t} + n_t$$

$X_{i,t}$: i 번째 입력시계열

$$v_i(B) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} v_{i,j}B^j : i\text{번째 전이함수}$$

$$n_t = \frac{\theta(B)}{\phi(B)}\varepsilon_t : \text{잡음과정}$$

[그림 3-2] 전이함수모형의 기본구조



[그림 3-3] 전이함수 개요

전이함수모형에서는 분석대상이 되는 시계열 데이터를 출력 시계열 데이터, 보조가 되는 시계열 데이터를 입력 시계열 데이터라 하며, 전이함수는 입력 시계열 데이터들이 가지고 있는 정보를 출력 시계열 데이터로 보내 주는 필터 역할을 한다.

출력 시계열 데이터에서 전이함수를 통하여 입력 시계열 데이터들의 현재항과 과거항들로 설명되지 못하는 부분을 ‘잡음항’ 이라 한다.

전이함수모형에서 중요한 성질은 ‘안정성’ 과 ‘인과성’ 으로 안정성은 ‘ $\delta_r(B)$ 의 모든 근들이 단위근 밖에 존재한다’ 는 조건이며 인과성은 ‘ $j < 0$ 일 때, 충격반응가중값 $v_j = 0$ 이다’ 라는 조건이다.

전이함수의 형태는 독립변수 시계열 데이터와 종속변수 시계열 데이터 사이의 상관성을 나타내는 교차상관함수를 이용하여 충격반응가중값을 통해 식별한다.

전이함수모형의 적합은 총 4단계에 거쳐서 이루어지며 분석에 투입되는 시계열 변수들의 정상화, 전이함수모형 식별을 위한 시계열 변수들의 사전백색화, 잠정적 전이함수의 추정, 잔차를 활용한 오차모형에 대한 식별과 추정 순으로 구성된다.

제 4 장 감천항 운영현황 및 미세먼지 배출현황

4.1. 감천항 운영현황

감천항은 북항의 물동량 증가에 따라 부산항 내 벌크화물 전용처리의 필요성이 제기되어 북항의 보조항으로 개발되었으며 현재 부산항 내에서 최대의 벌크화물을 핸들링하고 있고 주로 고철, 시멘트, 철제, 잡화 등의 화물을 취급한다. 감천항의 중앙부두는 인터지스에 의해 TOC 부두 형태로 운영이 되고 있으며 이 외, 동편 및 서편에 속하는 1~7부두는 BPA에 의해 공용부두 형태로 운영이 되고 있다.

[표 4-1] 감천항 일반부두 시설현황

구분	감천 제1부두	감천 제2부두	감천 제3부두	감천 제4부두	감천 제5부두
부두길이(m)	831	1,062	1,055	500	802
전면수심(m)	5.5~8	9~11	9~11	7.5	6~8
접안능력	2,000톤급 1척 5,000톤급 1척 3,000톤급 1척 8,000톤급 1척 6,000톤급 1척	10,000톤급 3척 20,000톤급 1척	10,000톤급 1척 5,000톤급 4척 1,000톤급 4척	5,000톤급 3척	5,000톤급 4척 10,000톤급 2척
CY면적(m ²)	-	1,300	-	-	-
구분	감천 제6부두	감천 제7부두	관공선 부두	다대부두	-
부두길이(m)	590	600	160	390	-
전면수심(m)	8~13	13	7.5	7.5	-
접안능력	10,000톤급 1척 5,000톤급 1척 30,000톤급 1척 20,000톤급 1척	50,000톤급 2척	1,000톤급 1척		-
CY면적(m ²)	3,168	6,120	-	-	-

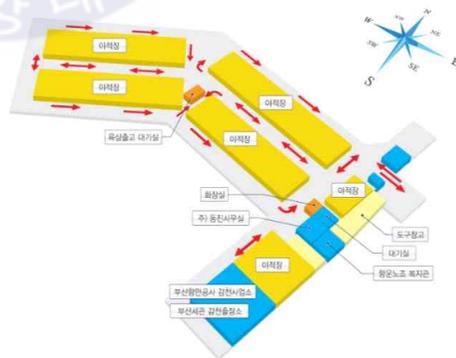
자료 : 부산지방해양수산청, <http://www.portbusan.go.kr/index.do>

감천항에서 처리되고 있는 화물은 고철, 철재, 원목, 골재, 모래, 시멘트, 잡화, 어획물, 액체, 폐기화물, 컨테이너, 유류, 케미칼로 분류되며 주로 제 1부두에서는 잡화, 어획물 처리 및 선박대기, 제 2부두에서는 시멘트, 철재, 골재, 모래, 잡화, 어획물, 시멘트 처리, 제 3부두에서는 냉동어획물, 철재, 잡화 처리, 중앙부두에서는 목재, 잡화, 철재 처리, 제 5부두에서는 고철, 철재, 원목, 시멘트, 잡화, 어획물, 시멘트, 고철 처리, 제 6부두에서는 액체, 폐기물, 시멘트, 어획물, 철재, 잡화, 원목 처리, 제 7부두에서는 컨테이너, 철재, 잡화, 목재 처리, 중앙부두 1물량장 및 2물량장에서는 선박대기, 삼한안벽에서는 유류, 케미칼 처리, 선박대기, 선박수리, 서방과제 안벽에서는 선박수리, 쌍용안벽에서는 시멘트, 모래, 잡화처리, 선기조합 조선소안벽에서는 폐기물 처리 및 선박대기의 기능을 한다.

즉, 동편에서는 주로 냉동어획물, 시멘트, 모래 화물이 처리하고 서편에서는 주로 고철, 모래, 시멘트 화물을 처리한다. 감천항 이외 부산항의 처리품목 현황으로 북항은 컨테이너, 양곡, 유류, 모래, 철재, 잡화, 남항은 수산물, 신항은 컨테이너, 자동차, 일반잡화, 다대포항은 선박수리에 대한 수요를 처리해오고 있다.



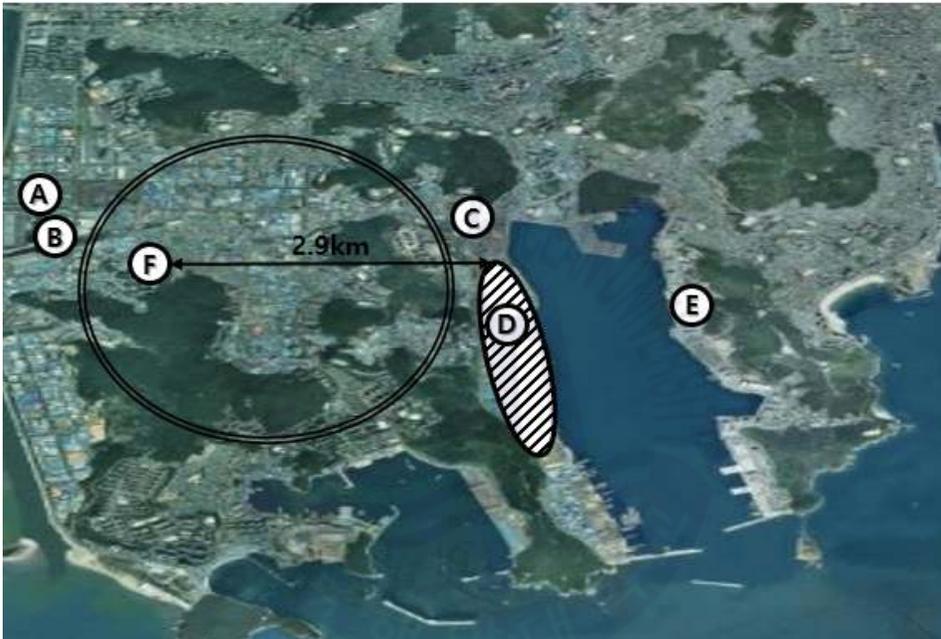
[그림 4-1] 감천항 조망도



[그림 4-2] 감천항 서편 야드맵

자료 : 부산지방해양수산청, <http://www.portbusan.go.kr/index.do>

감천항에서 벌크화물을 주로 처리하는 부두는 5부두, 6부두, 7부두이며, 위 부두를 기준으로 2.9km 반경에 인근지역 대기질 관측소는 장립 1동 주민센터 옥상에 위치하고 있다. 고철화물을 처리하는 제강공장은 동국제강 신평공장(A), 대한제강 신평공장(B), YK스틸(C)과 모래와 시멘트화물을 처리하는 쌍용양회(D), 삼표시멘트(E)의 지리적 위치는 [그림 4-3]과 같다.



[그림 4-3] 감천항 인근지역 관측소 및 벌크화물 처리공장 조망도

고철 화물을 처리하는 공장에서의 작업들은 쇳물을 생산하는 제선공정, 불순물이 제거된 쇳물을 강철로 만드는 제강공정, 액체 상태의 쇳물을 주형에 주입하여 형태를 만들어주는 연주공정, 고체화된 철을 강판 또는 선재로 만드는 압연공정 단계로 이루어지며 시멘트 화물을 처리하는 공장에서의 작업들은 원료를 90 μ m이하로 입자화 하는 원료분쇄공정, 입자화 된 원료를 통해 반제품 크링카를 생산하는 소성공정, 소성된 크랑카에 원부재료를 첨가하는 제품분쇄공정, 벌크 혹은, 포장의 형태로 제품을 출하하는 출하공정 단계로 이루어진다.

감천항의 최근 3년 주요화물 처리량의 추세는 [그림 4-4], [그림 4-5], [그림 4-6]과 같다.

고철처리량은 2016년 46.5%, 2017년 78.0%, 2018년 86.5%로 증가추세에 있으며 화물들은 철 스크랩 방통차를 통해 공장으로 수송된다.

단위 : 천 Ton

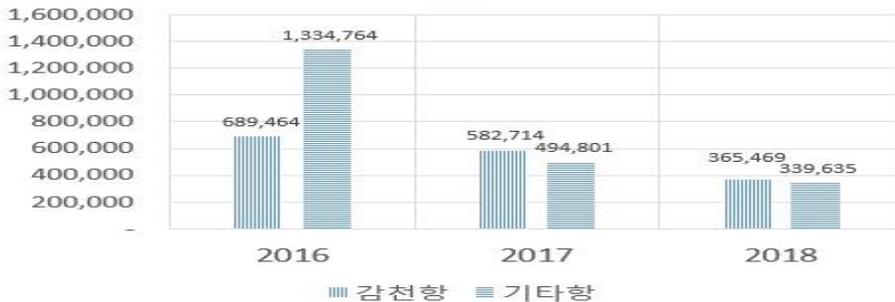


자료 : 부산항만공사 BIG DATA 시스템

[그림 4-4] 부산항 고철처리량

모래처리량의 경우, 2016년 34.1%, 2017년 54.1%, 2018년 51.1%로 증가 추세이며 포크레인과 차량 또는, 지하덕트를 통해 공장으로 수송된다.

단위 : 천 Ton

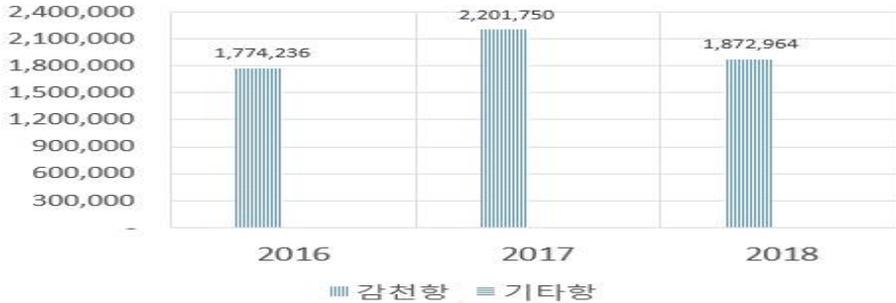


자료 : 부산항만공사 BIG DATA 시스템

[그림 4-5] 부산항 모래처리량

시멘트 처리량의 경우, 부산항의 약 100퍼센트를 처리하고 있으며 시멘트 전용 양하 시설물로 화물을 양하 하여 차량을 통해 공장으로 수송된다.

단위 : 천 Ton



자료 : 부산항만공사 BIG DATA 시스템

[그림 4-6] 부산항 시멘트처리량

4.2. 감천항 인근지역 미세먼지 배출현황

2018년 11월 7일부터 2019년 9월 30일까지 총 328일 동안의 부산 신항 대기 측정소의 미세먼지 농도 데이터와 감천항의 인근지역의 대기질 측정소에서 측정된 미세먼지 데이터를 수집하여 누적 꺾은 선형 그래프로 나타내어 비교하였을 때, 총 미세먼지 농도의 경우, 30일을 제외한 총 298일의 기간 동안 감천항 인근지역의 미세먼지 발생농도가 부산 신항의 미세먼지 농도보다 높게 나타났다.

단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$



자료 : 기상청 국가기후데이터센터 기상자료개방포털

[그림 4-7] 신항 및 감천항 인근지역 미세먼지 농도

미세먼지를 입자 크기별로 구분하여 PM2.5와 PM10에 해 신항과 감천항 인근지역의 미세먼지 농도를 비교하였을 때, 일별 시계열 데이터 중 21일을 제외한 307일의 기간 동안 장림동의 PM2.5 농도가 높게 나타났으며 감천항 인근지역의 PM2.5의 경우, 부산 신항 대비, 일평균 5.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가량 높게 측정이 되었다. 또한 PM2.5 농도 기준 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상일 경우, PM2.5 주의보가 발령되며 장림동에서의 주의보 발령일은 328일 중 96일로 나타났다.



자료 : 기상청 국가기후데이터센터 기상자료개방포털

[그림 4-8] 신항 및 감천항 인근지역 PM2.5 농도

PM10의 경우, 장림동의 PM10 농도가 부산 신항의 PM10 농도에 비해 301일 동안 높게 나타났으며 부산 신항 대비, 일평균 6.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가량 높게 측정되었다.



자료 : 기상청 국가기후데이터센터 기상자료개방포털

[그림 4-9] 신항 및 감천항 인근지역 PM10 농도

제 5 장 실증분석

5.1. 미세먼지와 항만 기후환경 간 상관관계

세계보건 기구(WHO)⁹⁾는 기후변화로 인한 대표적인 건강 위험 요인으로 오존층 감소와 폭염뿐만 아니라 미세먼지 등의 대기오염을 제시하였으며, Ebi & McGregor(2008)의 연구 결과에 따르면, 기후변화는 대기오염 물질 중 특히 오존(O₃)과 미세먼지의 농도 수준을 증가시킨다고 하였다. 또한 Park and Kim(2014)는 미세먼지 고농도 현상의 발생 특성은 배출량 변화뿐만 아니라 대기패턴의 변화에 따라 매년 다른 변동성을 보이고 있다고 언급한 바 있다.

본 연구의 목적은 한 달의 시차범위 내에 감천항의 주요 처리화물들로부터 발생하는 항만지역의 대내외적 활동들과 인근지역 미세먼지 농도 간의 인과관계를 파악하는 것이다.

따라서 미세먼지의 이동방향과 미세먼지의 농도에 영향을 미치는 기후 요인에 대한 영향을 통제할 필요가 있으며 우선적으로 감천항의 기후요인(풍향, 풍속, 습도, 기온)과 인근지역 미세먼지 농도에 대한 상관관계 분석을 수행하였다.

결과적으로 감천항 지역의 평균풍속은 인근지역의 미세먼지 농도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며 최다풍향, 평균기온, 평균상대습도는 인근지역 미세먼지 농도에 상대적으로 큰 영향력을 미치는 것으로 나타났다.

최다풍향의 경우, ‘0.001’의 유의수준에서 PM농도에 대하여 ‘0.79’의 강한 양의 상관관계, PM_{2.5} 농도에 대하여 ‘0.81’의 강한 양의 상관관계, PM₁₀ 농도에 대하여 ‘0.76’의 강한 양의 상관관계를 나타냈으며 평균기온의 경우, ‘0.001’의 유의수준에서 PM농도에 대하여 ‘-0.80’

9) World Health Organization[WHO], 2004

의 강한 음의 상관관계, PM2.5 농도에 대하여 ‘-0.81’의 강한 음의 상관관계, PM10 농도에 대하여 ‘-0.78’의 강한 음의 상관관계를 나타냈다.

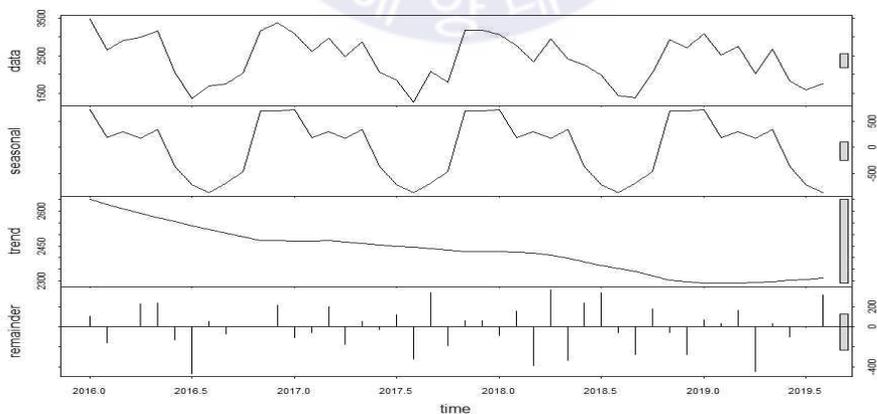
결론적으로 미세먼지가 기후환경의 영향을 받는다는 것을 확인하였고, 다음 단계로 계절에 의한 미세먼지 농도 추세 정도를 확인할 필요가 있었다.

[표 5-1] 기후변화 요인과 미세먼지 간 상관관계

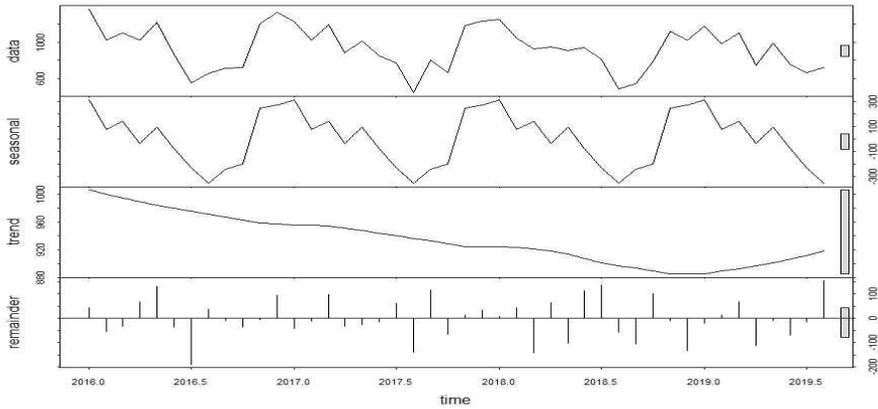
구분	계절성 조정 이전			
	평균풍속	최다풍향	평균기온	평균상대습도
PM 농도	0.1612458	0.7921576(***)	-0.8041869(***)	-0.7753201(***)
PM2.5 농도	0.1495481	0.8115186(***)	-0.8092914(***)	-0.7559906(***)
PM10 농도	0.1642952	0.7619459(***)	-0.7820753(***)	-0.7682672(***)

*, **, *** : 각각 1%, 5%, 10% 유의수준에서 귀무가설 기각

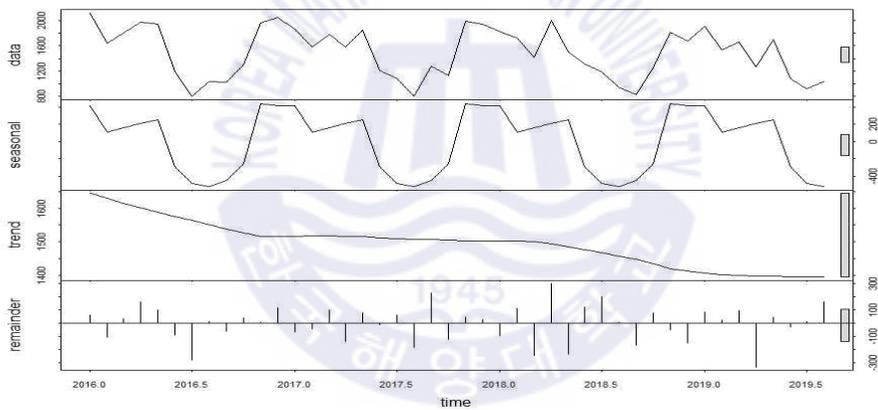
PM 농도, PM2.5 농도, PM10 농도에 대한 시계열 데이터를 계절, 추세, 불규칙 성분으로 분해하여 시각화한 결과는 [그림 5-1], [그림 5-2], [그림 5-3]과 같으며, 결론적으로 화물처리량과 인근지역 미세먼지 간의 분석을 진행하기에 앞서, 기존 미세먼지 농도에서 계절적인 측면에서 기후변화요인에 대한 영향력을 제거 할 필요가 있었다.



[그림 5-1] PM 시계열 분해결과



[그림 5-2] PM2.5 시계열 분해결과



[그림 5-3] PM10 시계열 분해결과

2016년 1월을 기준으로 성분 분해된 미세먼지 시계열 데이터 [그림 5-1], [그림 5-2], [그림 5-3]을 통해 미세먼지가 갖는 계절성의 영향력을 검토 한 결과, PM 농도, PM2.5 농도, PM10 농도 모두 일정한 주기 패턴으로 높은 계절성을 보였다.

따라서 월 단위의 미세먼지 시계열 자료에 대한 계절성을 조절하기 위해 ‘X11’ 을 활용하여 계절성을 추출하였고, 계절성을 제거한 미세먼지 데이터와 평균풍속, 최다풍향, 평균기온, 평균상대습도 간 상관관계분석을 수행한 결과, 평

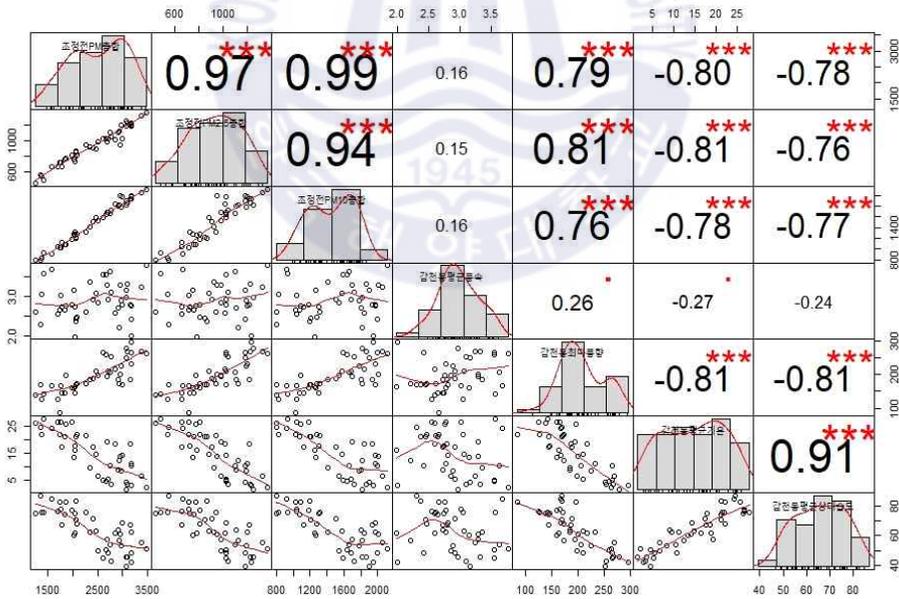
균풍속, 최다풍향, 평균기온, 평균상대습도 또한 기준에 미치던 영향이 제거되었으며 분석결과는 [표 5-2]로 요약된다.

[표 5-2] 계절성 조정 후 기후변화 요인과 미세먼지 간 상관관계

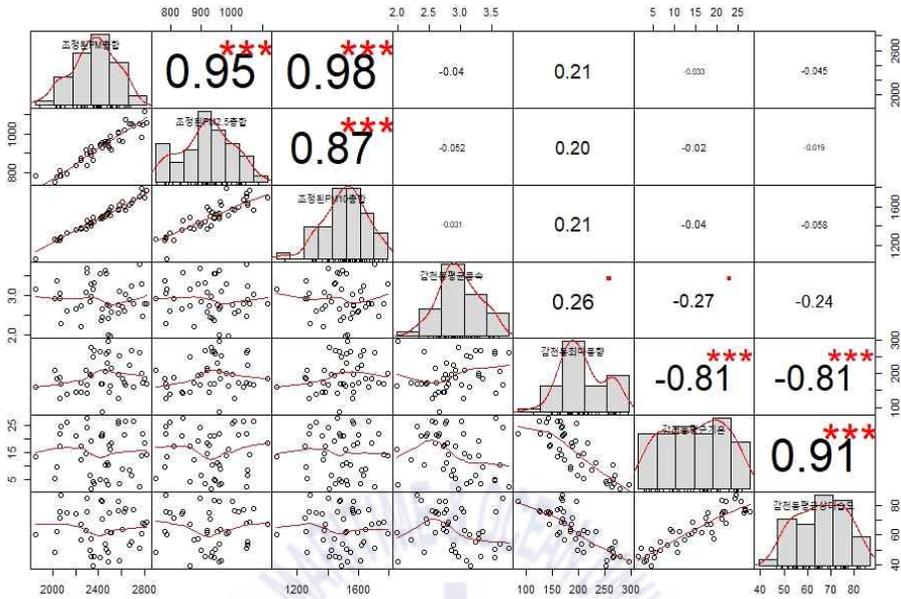
구분	계절성 조정 이후			
	평균풍속	최다풍향	평균기온	평균상대습도
PM 농도	-0.03963211	0.2105680	-0.03336551	-0.04497253
PM2.5 농도	-0.05183464	0.1965404	-0.01980079	-0.01944716
PM10 농도	-0.03055040	0.2087431	-0.03975341	-0.05784619

*, **, *** : 각각 1%, 5%, 10% 유의수준에서 귀무가설 기각

따라서 다음 절에서는 감천항에서의 월별 화물처리량과 계절성이 추출된 월별 인근지역 미세먼지 농도 간의 상관관계를 분석하였다.



[그림 5-4] 기후인자와 미세먼지 간 상관관계(계절성 조정이전)



[그림 5-5] 기후인자와 미세먼지 간 상관관계(계절성 조정이후)

5.2. 미세먼지와 주요처리 화물 간 상관관계

계절성을 추출한 월별 PM 농도, PM2.5 농도, PM10 농도 시계열 데이터와 감천항의 주요 처리화물인 고철, 모래, 시멘트의 물동량 간의 상관관계 분석을 수행한 결과, 고철의 경우 ‘0.01’의 유의수준에서 PM 농도에 대하여 ‘0.37’의 보통의 양의 상관관계, ‘0.1’의 유의수준에서 PM2.5 농도에 대하여 ‘0.27’의 약한 양의 상관관계, ‘0.01’의 유의수준에서 PM10 농도에 대하여 ‘0.41’의 보통의 양의 상관관계를 나타내었다.

모래의 경우, ‘0.05’의 유의수준에서 PM 농도에 대하여 ‘0.39’의 보통의 양의 상관관계, ‘0.05’의 유의수준에서 PM2.5 농도에 대하여 ‘0.31’의 보통의 양의 상관관계, ‘0.01’의 유의수준에서 PM10 농도에 대하여 ‘0.41’의 보통의 양의 상관관계를 나타내었다. 그러나 시멘트의 경우, PM 농도, PM2.5, PM10 농도 모두에 대하여 유의미한 수준에서 상관관계를 나타내지 않았다.

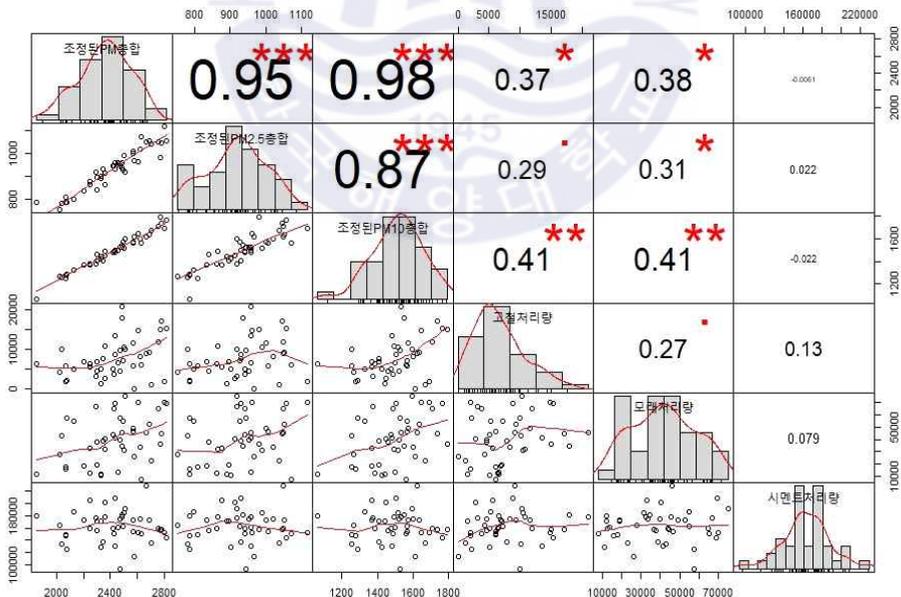
[표 5-3] 계절성 조정 후 기후변화 요인과 주요처리 화물 간의 상관관계

구분	계절성 조정 전		
	PM 농도	PM2.5 농도	PM10 농도
고철	0.373534986(**)	0.2872753(·)	0.40643141(**)
모래	0.384171914(*)	0.3092929(*)	0.40985910(**)
시멘트	-0.006055623	0.0218140	-0.02217377

*, **, *** : 각각 1%, 5%, 10% 유의수준에서 귀무가설 기각

결과적으로 미세먼지 농도에 대하여 ‘고철처리량’ 과 ‘모래처리량’ 이 상호 유의한 양의 상관관계를 갖는 것을 도출하였다.

그러나 상관관계가 인과관계로 이어지는 것이 아니기에, 미세먼지 농도를 종속변수, 고철처리량과 모래처리량을 독립변수로 하여 한 달 동안의 화물처리량이 인근지역 미세먼지 농도에 영향을 미치는가에 대한 분석을 수행하였다.



[그림 5-6] 발생미세먼지와 주요처리 화물 간 상관관계

5.3. 미세먼지와 주요처리 화물 간 인과관계

미세먼지와 주요처리 화물 간의 인과관계 분석수행을 위한 전반적인 절차는 다음과 같다.

1단계로 독립변수 시계열 데이터인 ‘월별 화물처리량(A_t)’에 대한 ARIMA 모형을 도출하여 잔차를 산정한 다음, 이를 백색잡음(White Noise)로 변환하였다.

2단계로 ‘ $Y_t' = \phi(B)^{-1}\theta(B)Y_t$ ’에 따라 종속변수 시계열 데이터인 ‘월별 미세먼지 발생량(B_t)’에 대해 ‘새로운 시계열 데이터(B_t')’를 구성한 후, 1단계에서 도출한 잔차와 ‘ B_t' ’ 간의 교차상관함수를 통해 두 변수 간의 시차값(B^d)를 산정하고 회귀분석을 수행하였다.

3단계로 ‘ B_t' ’에 대한 잔차를 산정한 후, 이에 대한 ARIMA 모형을 도출하였다. 즉, ‘ A_t ’를 ARIMA 모형에 대해 백색잡음(a_t)로 변환하고 ‘ a_t ’와 ‘ B_t' ’ 간의 시차와 회귀분석을 통해 White Noise(e_t)를 구성하여 최종 시계열을 표현하였으며 종속변수와 독립변수의 인과관계를 규명하기 위해 음수의 시차는 분석에서 제외하였다.

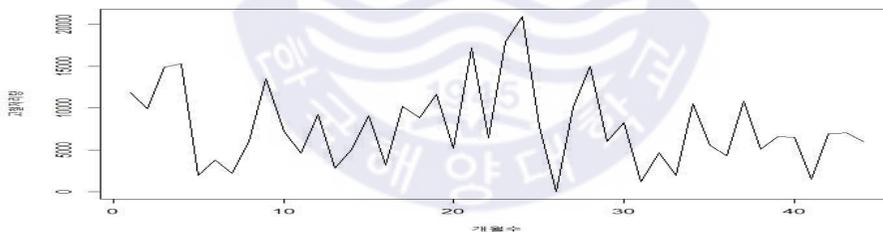
주요 변수들에 대한 기호 표시는 [표 5-4]와 같다.

[표 5-4] 변수에 대한 기호

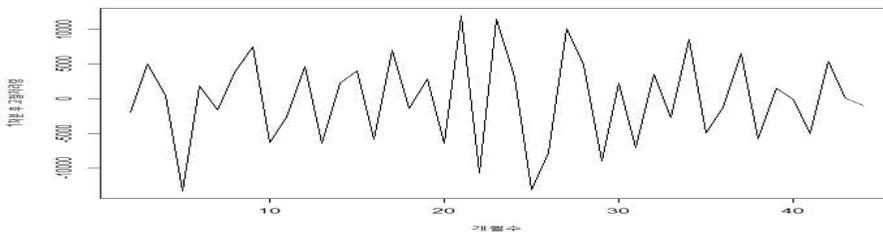
변수		기호	변수		기호
월 별	고철처리량	U_t	월 별	PM 농도	X_t
	모래처리량	V_t		PM2.5 농도	Y_t
	시멘트처리량	W_t		PM10 농도	Z_t

5.3.1 고철처리량과 미세먼지(PM) 발생량

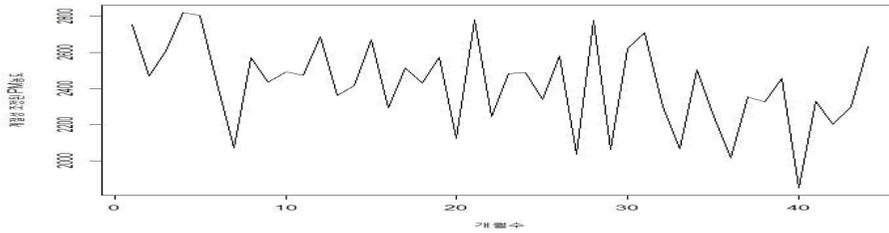
고철처리량(U_t)과 PM 농도(X_t)의 월별 시계열 데이터는 [그림 5-7], [그림 5-8]로 시각화하였으며 그래프 상으로 판단한 결과, 고철처리량(U_t)의 경우 평균이 일정하지 않은 것으로 판단하였고, 시계열에 대한 안정성을 검정하기 위해 단위근검정을 수행한 결과, Dickey-Fuller=-3.2426, Lag order=3, p-value=0.09309으로 p-value 값이 유의수준 ‘0.05’ 에서 기각되었다. 따라서 일차분 후 단위근검정을 재수행한 결과, Dickey-Fuller = -5.0964, Lag order = 3, p-value = 0.01 으로 시계열 자료의 평균과 분산의 일정한 안정성이 확보되었다. 또한 ‘PM 농도’ 에 대한 단위근검정 결과, Dickey-Fuller=-3.6956, Lag order=3, p-value=0.03666으로 시계열 자료의 평균과 분산이 유의수준 ‘0.05’ 에서 안정적이라고 판단되었으나 [그림 5-9]의 시각화 자료를 통해 시계열 상에 평균과 분산을 더욱 안정하기 위해 로그변환과 일차분을 수행하였으며 결과는 [그림 5-10]이다.



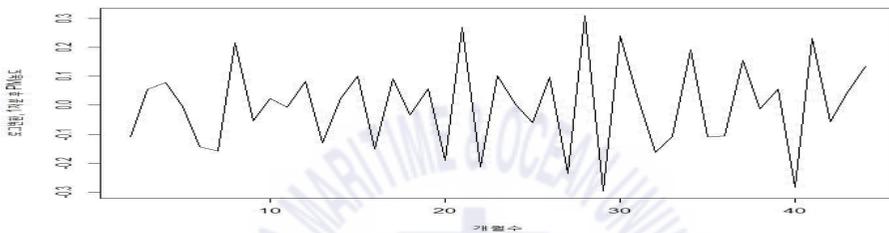
[그림 5-7] 월별 고철처리량



[그림 5-8] 조정된 월별 고철처리량



[그림 5-9] 월별 PM 농도



[그림 5-10] 조정된 월별 PM 농도

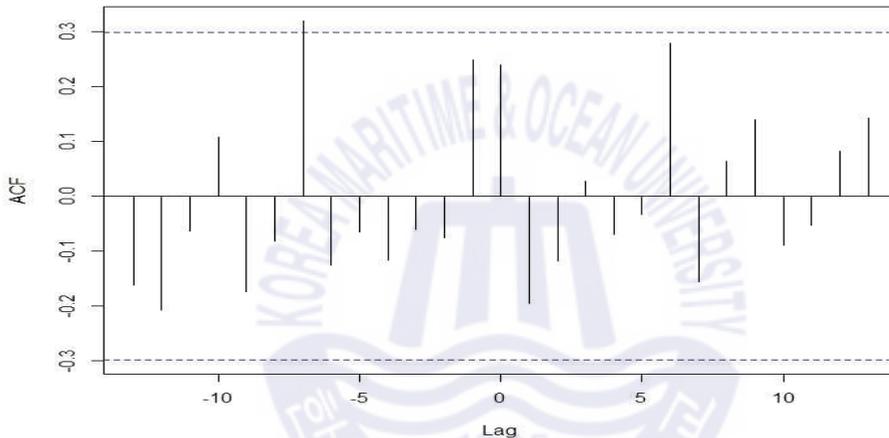
단위근검정의 경우, William Schwert(1987)¹⁰⁾은 계열상관과 이분산을 조정할 수 있는 Phillips_Perron 검정보다 ADF(Augmented Dickey Fuller) 검정을 하도록 권고하였다. 따라서 본 연구에서는 특정한 방향으로 움직이는 값을 같거나 시간의 추세를 갖는 AR(1) 모델에 적합한 Dickey-Fuller 단위근검정이 아닌 AR(P)까지 확대적용 가능한 ADF(Augmented Dickey Fuller) 단위근검정을 수행하였다.

일차분한 ‘고철처리량(U_t)’를 ‘Auto.arima function’을 통해 AIC=859.02, AICc=859.32, BIC=862.54의 결과값을 갖는 이동평균모형(MA1) ARIMA(0,0,1)을 도출하였으며 ‘고철처리량(U_t)’과 ‘PM 농도(X_t)’를 통해 변환한 X'_t 간의 교차상관함수를 수행한 결과는 [표 5-5], [그림 5-11]로 시차는 1(한 달)로 고정하였다.

10) <http://elearning.kocw.net/contents4/document/lec/2013/Konkuk/Leegiseong/9.pdf>

[표 5-5] 고철처리량과 PM 농도에 대한 시차별 상관분석

Lag	Correlation	Lag	Correlation	Lag	Correlation
1	-0.275	6	0.198	11	-0.090
2	-0.143	7	-0.196	12	0.130
3	0.039	8	0.066	13	0.133
4	-0.028	9	0.196		
5	0.017	10	-0.100		

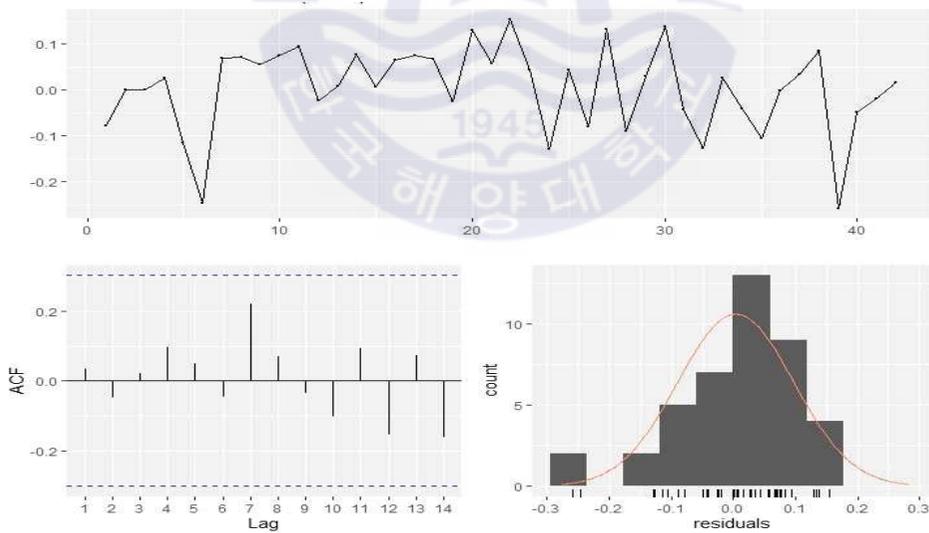


[그림 5-11] 모래처리량과 PM 농도에 대한 전이함수 모형적합 진단

로그변환과 일차분한 X_t 를 종속변수, 로그변환과 일차분한 X_t 로 부터의 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 'A' 로 지정하였다. 그리고 로그변환과 일차분한 X_t 를 종속변수, 일차분한 U_t 를 독립변수로 하는 회귀식을 'B' 로 지정하였다. 또한 일차분한 U_t 를 종속변수, 일차분한 U_t 로 부터의 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 'C' 로 지정하였다. 'C ~ 0' 까지의 시차를 고려하여 'A' 를 변수로 형성된 데이터프레임을 'D' 로 지정하였다. 데이터프레임 'D' 를 통해 'A' 를 종속변수로 하고 'C' 를 독립변수로 하는 회귀식을 도출하였다.

이를 요약한 결과, 감천항에서 고철화물을 처리하는 과정과 처리된 고철화물들로부터 파생되는 활동들로 인해 한 달 이내의 시간범위에서 인근지역의 미세먼지 농도에 미치는 영향은 유의수준 ‘0.01’에서 $p\text{-value} = 0.008221$ 로 $R^2=13.78$ 의 설명력을 나타내었으며, X_t' 의 오차항에 대한 ARIMA 모형은 ‘auto.arima function’을 통한 분석결과, ARIMA(1,0,2)의 전이함수모형이 도출되었다.

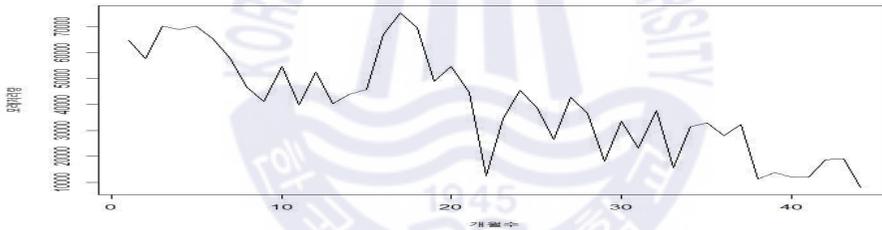
추정된 모형의 잔차계열이 백색잡음을 나타내는지 확인하기 위해 Portmanteau Test(Ljung-Box Test)를 수행한 결과, ‘ $Q^*=3.6908$, $df=4$, $p\text{-value}=0.4495$ ’로 오차항의 백색잡음 가정을 만족하였으며 잔차가 상호 독립적으로 자기상관성이 없음을 나타내었다. 또한 [그림 5-12]의 그래프를 통한 자기상관(ACF) 검토 결과로 시간에 따른 잔차의 변화가 크게 나타나지 않았으며 히스토그램의 구간은 정규분포를 이루고 있는 것으로 판단되었다.



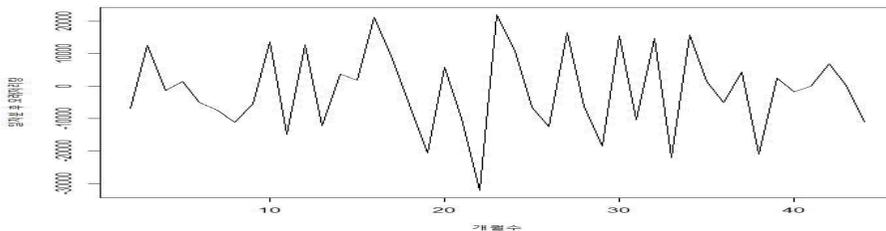
[그림 5-12] 평균이 ‘0’ 이 아닌 ARIMA(1,0,2)의 잔차

5.3.2 모래처리량과 미세먼지(PM) 발생량

PM 농도(X_t)에 대한 월별 시계열 데이터는 5.3.1절 [그림 5-9], [그림 5-10]으로 ‘모래처리량(V_t)’에 대한 월별 시계열 데이터는 [그림 5-13]으로 시각화하였다. ‘ V_t ’에 대한 그래프를 통해 ‘ V_t ’의 평균이 일정하지 않은 것으로 판단하였고 이를 확인하기 위해 단위근검정을 수행한 결과, Dickey-Fuller=-3.2404, Lag order=3, p-value=0.09342 정상성에 대한 가정이 기각되어 일차분 후, 단위근검정을 재수행한 결과 Dickey-Fuller=-3.6961, Lag order=3, p-value=0.03702로 시계열 데이터의 안정성을 확보하였고 [그림 5-14]로 시각화하였다.



[그림 5-13] 월별 모래처리량

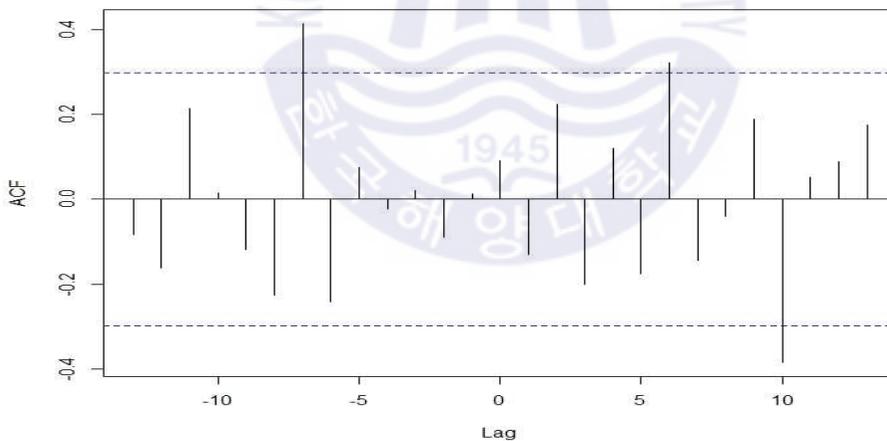


[그림 5-14] 조정된 월별 모래처리량

일차분한 ‘모래처리량(V_t)’의 시계열 데이터를 통해 ARIMA(0,0,1)을 적합하였으며 이는 AIC=930.97, AICc=931.27, BIC=934.49의 결과값을 나타냈다. 또한 ‘ V_t ’와 ‘ X_t ’간의 교차상관함수를 수행한 결과는 [표 5-6], [그림 5-15]와 같다.

[표 5-6] 모래처리량과 PM 농도에 대한 시차별 상관분석

Lag	Correlation	Lag	Correlation	Lag	Correlation
1	-0.130	6	0.322	11	0.051
2	0.224	7	-0.143	12	0.090
3	-0.201	8	-0.039	13	0.174
4	0.119	9	0.190		
5	-0.175	10	-0.385		



[그림 5-15] 모래처리량과 PM 농도에 대한 전이함수 모형적합 진단

로그변환과 일차분한 ‘ X_t ’를 종속변수, ‘ X_t ’로부터의 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 ‘A’, ‘ V_t ’를 독립변수 로그변환과 일차분한 ‘ X_t ’를 종속변수로 하는 회귀식을 ‘G’로 지정하였다. 일차분한

V_t' 를 종속변수, 일차분한 V_t' 로부터의 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 'H' 로 지정하였다.

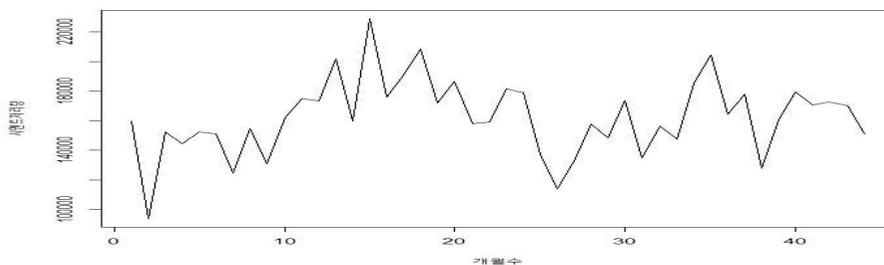
'H ~ 0' 까지의 시차를 고려하여 'A' 를 변수로 형성된 데이터프레임을 'I' 로 지정하였다. 데이터프레임 'I' 를 통해 'A' 를 종속변수로 하고 'H' 를 독립변수로 하는 회귀식을 도출하였다.

시차를 '한 달' 로 고정한 후 요약한 결과, p-value=0.1052, $R^2=0.04088$ 의 설명력으로 유의한 결과를 내내지 않았고 감천항에서 월별 모래물동량을 처리하는 과정과 모래처리량으로 인해 항만 외적으로 발생하는 이차적 활동들은 인근지역의 미세먼지 농도에 영향력을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

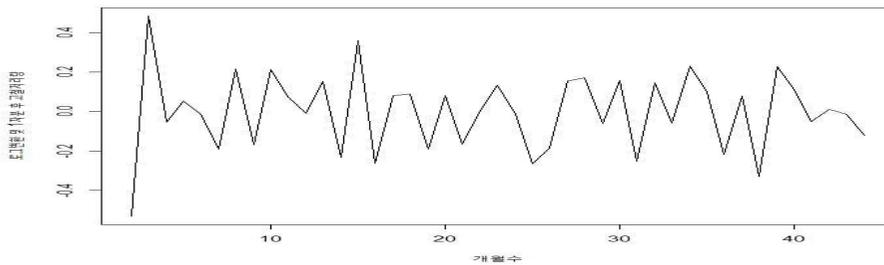
Breusch-Godfrey test 결과, LM test=23.049, df=8, p-value=0.003302로 유의수준 '0.05' 를 기준으로 자기상관이 크지 않는 것으로 나타났다.

5.3.3 시멘트처리량과 미세먼지(PM) 발생량

시멘트처리량(W_t)에 대한 월별 시계열 데이터는 [그림 5-16]으로 그래프를 통해 정상성을 확인한 결과, 평균과 분산이 일정하지 않은 것으로 판단되어 단위근검정을 수행한 결과, Dickey-Fuller=-2.5675, Lag order=3, p-value=0.3491로 정상성을 나타내지 않았다. 따라서 로그변환과 일차분 수행 후, 단위근검정 결과 는 Dickey-Fuller=-6.3769, Lag order=3, p-value=0.01로 안정성이 확보되었다.



[그림 5-16] 월별 시멘트처리량

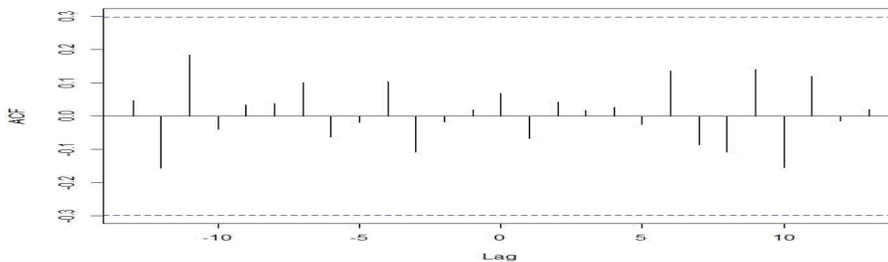


[그림 5-17] 조정된 월별 시멘트처리량

로그변환과 일차분된 ‘시멘트처리량(W_t)’을 ‘auto.arima function’을 통해 AIC=-31.12, AICc=-30.82, BIC=-27.59의 ARIMA(0,0,1)를 도출하였으며 ‘ W_t ’와 ‘ X_t ’간의 교차상관함수를 수행한 결과는 [표 5-7], [그림 5-18]과 같다.

[표 5-7] 시멘트처리량과 PM 농도에 대한 시차별 상관분석

Lag	Correlation	Lag	Correlation	Lag	Correlation
1	-0.130	6	0.322	11	0.051
2	0.224	7	-0.143	12	0.090
3	-0.201	8	-0.039	13	0.174
4	0.119	9	0.190		
5	-0.175	10	-0.385		



[그림 5-18] 시멘트처리량과 PM 농도에 대한 전이함수 모형적합 진단

로그변환과 일차분한 ' X_t '를 종속변수, ' X_t '로부터의 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 ' A ', 로그변환과 일차분한 PM 농도를 종속변수, 로그변환 후 일차분한 ' W_t '를 독립변수로 하는 회귀식을 ' J '로 지정하였다. 로그변환 후 일차분한 ' W_t '을 종속변수, 로그변환과 일차분한 ' W_t '로부터의 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 ' K '로 지정하였다.

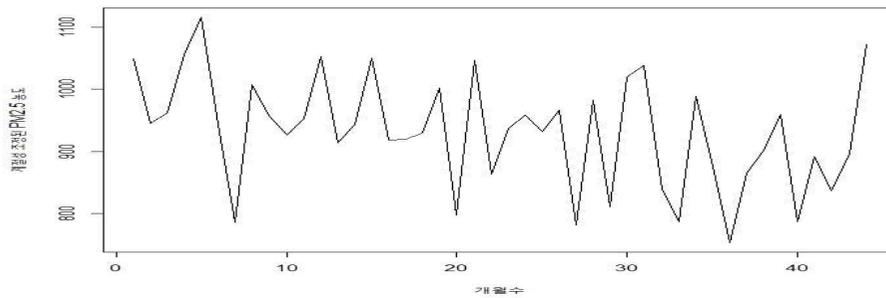
' $K \sim 0$ '까지의 시차를 고려하여 ' A '를 변수로 형성된 데이터프레임을 ' L '로 지정한다. 데이터프레임 ' L '을 통해 ' A '를 종속변수로 하고 ' K '를 독립변수로 하는 회귀식을 도출하였다.

시차를 한 달로 고정하였고 결과적으로 $p\text{-value}=0.2359$, $R^2=0.01081$ 의 유의한 설명력을 나타나지 않았으며 Breushch-Godfrey test 결과, LM test=25.101, $df=8$, $p\text{-value}=0.001495$ 로 유의수준 ' 0.05 '를 기준으로 자기상관이 크지 않는 것으로 나타났다.

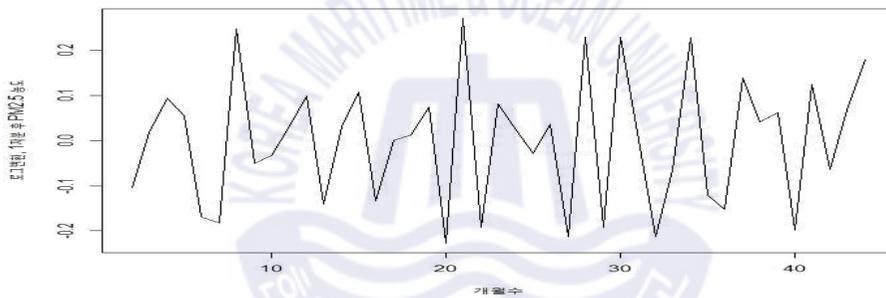
5.4. 미세먼지 입자크기에 따른 인과관계

미세먼지는 입자 크기에 따라 ' PM_{10} '과 ' $PM_{2.5}$ '로 분류가 된다. 따라서 미세먼지의 입자 크기에 따라 인근지역 미세먼지 농도에 미치는 영향력이 상이한지에 대한 분석을 수행하기 위해 고철물동량을 독립변수, ' PM_{10} '과 ' $PM_{2.5}$ '를 종속변수로 구분하여 추가적인 분석을 수행하였다.

정상성 조정 이후의 고철처리량시계열 자료는 5.3.1절의 [그림 5-8]이며 $PM_{2.5}$ 농도(Y_t)에 대한 월별 시계열 데이터는 [그림 5-19]로 시각화하였다. Y_t 에 대한 단위근검정 결과, Dickey-Fuller=-3.7341, Lag order=3, $p\text{-value}=0.03359$ 로 시계열 자료의 평균과 분산이 유의수준 ' 0.05 '에서 안정적이라고 나타났으나 로그변환과 일차분을 통해 더 높은 정상성을 확보하였고 [그림5-20]으로 시각화 하였다.



[그림 5-19] 월별 PM2.5 농도

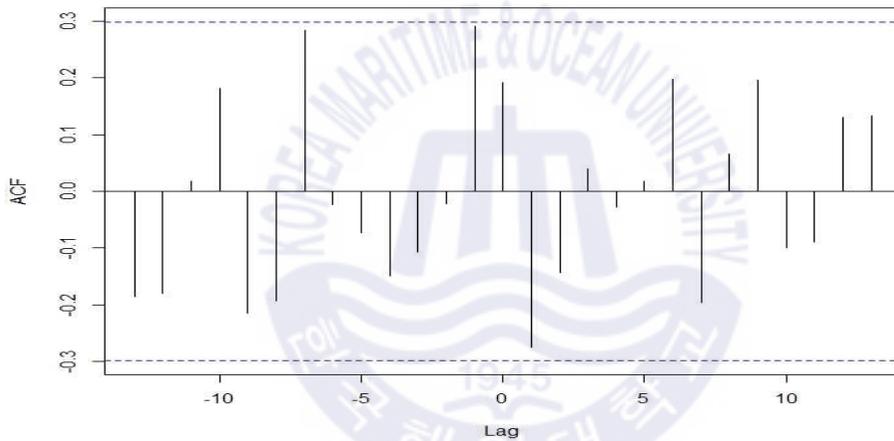


[그림 5-20] 조정된 월별 PM2.5 농도

5.3.1절에서 일차분한 ‘고철처리량(U_t)’를 바탕으로 AIC=859.02, AICc=859.32, BIC=862.54의 결과값을 갖는 이동평균모형 ARIMA(0,0,1)을 도출하였으며, ‘ U_t ’와 ‘ Y_t ’를 통해 변환한 ‘ Y_t' ’간의 교차상관함수를 수행한 결과는 아래의 [표 5-8], [그림 5-21]이다.

[표 5-8] 고철처리량과 PM2.5 농도에 대한 시차별 상관분석

Lag	Correlation	Lag	Correlation	Lag	Correlation
1	-0.275	6	0.198	11	-0.090
2	-0.143	7	-0.196	12	0.130
3	0.039	8	0.066	13	0.133
4	-0.028	9	0.196		
5	0.017	10	-0.100		

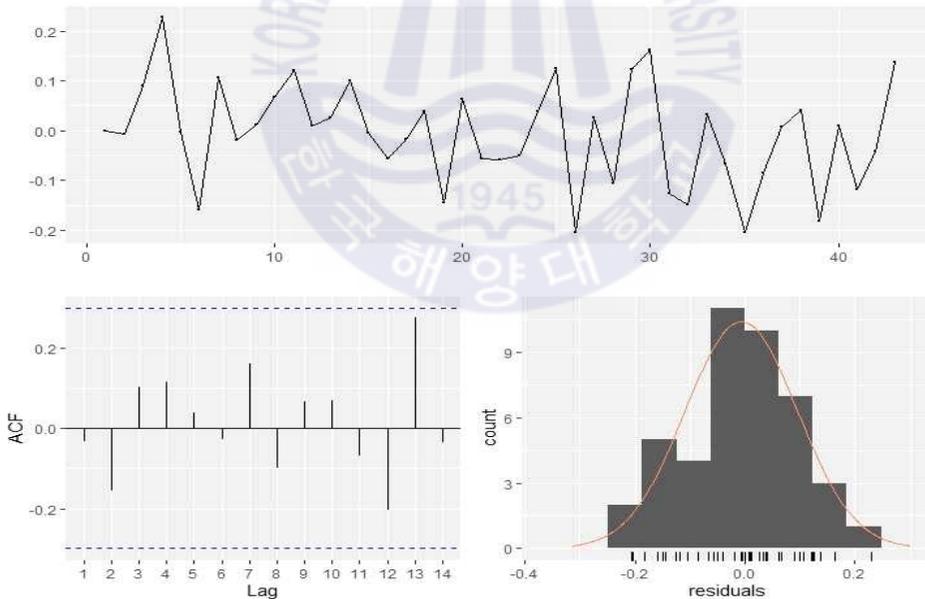


[그림 5-21] 고철처리량과 PM2.5 농도에 대한 전이함수 모형적합 진단

일차분한 ‘고철처리량(U_t)’에 대한 적합모형과 모형의 잔차에 대한 분석은 5.3.1절에서 수행하였으며, 다음 단계로 로그변환 후, 일차분한 ‘ Y_t ’를 종속변수, 로그변환 후 일차분한 ‘ Y_t ’로부터의 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 ‘M’으로 지정하였다. 로그변환 후 일차분한 ‘ Y_t ’를 종속변수, 일차분한 ‘ U_t ’를 독립변수로 하는 회귀식을 ‘N’으로 지정하였다. 일차분한 ‘ U_t ’를 종속변수, 일차분한 ‘ U_t ’로부터의

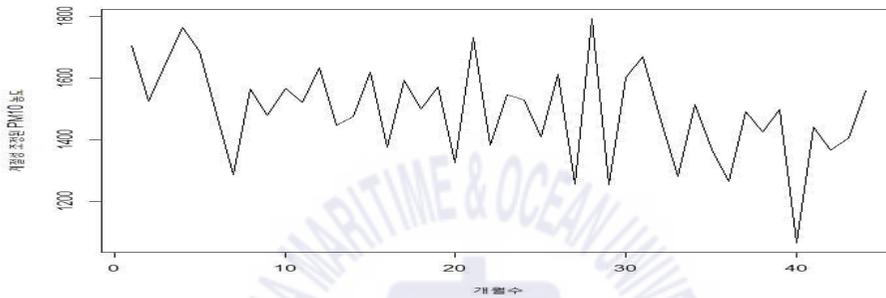
시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 ‘O’ 로 지정하였다. ‘O ~ 0’ 까지의 시차를 고려하여 ‘M’ 을 변수로 형성된 데이터프레임을 ‘P’ 로 지정하였다. ‘P’ 를 통해 ‘M’ 을 종속변수로 하고 ‘O’ 를 독립변수로 하는 시차를 한 달로 고정한 회귀식에 대한 요약결과, 유의수준 ‘0.05’ 에서 $p\text{-value}=0.01483$, $R^2=11.53$ 의 설명력을 나타냈으며 Y_t 의 오차항에 대해 $AIC=-67.28$, $AICc=-66.97$, $BIC=-63.81$ 의 ARIMA(0,1,1) 전이함수모형을 도출하였다. Portmanteau Test(Ljung-Box Test)를 수행한 결과, $Q^*=4.6972$, $df=8$, $p\text{-value}=0.7894$ 로 오차항의 백색잡음 가정을 만족하였다.

또한 그래프를 통한 자기상관(ACF) 검토 결과, 시간에 따른 잔차의 변화가 크게 나타나지 않았고, 히스토그램의 구간은 정규분포를 이루고 있는 것으로 보이며 예측구간의 범위에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

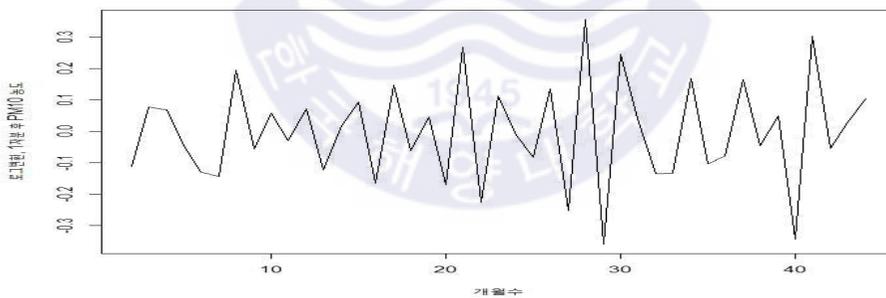


[그림 5-22] 평균이 ‘0’ 이 아닌 ARIMA(0,1,1)의 잔차

PM10 농도(Z_t)에 대한 단위근검정 수행결과, Dickey-Fuller=-3.7074, Lag order=3, p-value=0.03572로 시계열이 정상성을 갖는다고 나타났으나, [그림 5-23]의 그래프 상으로 시계열을 더욱 안정화하기 위해 로그변환과 일차분을 하였고 변환된 데이터에 대한 단위근검정을 실시한 결과, Dickey-Fuller=-5.2008, Lag order=3, p-value=0.01로 정상화되었으며 결과는 [그림 5-24]로 시각화되었다.



[그림 5-23] 월별 PM10 농도

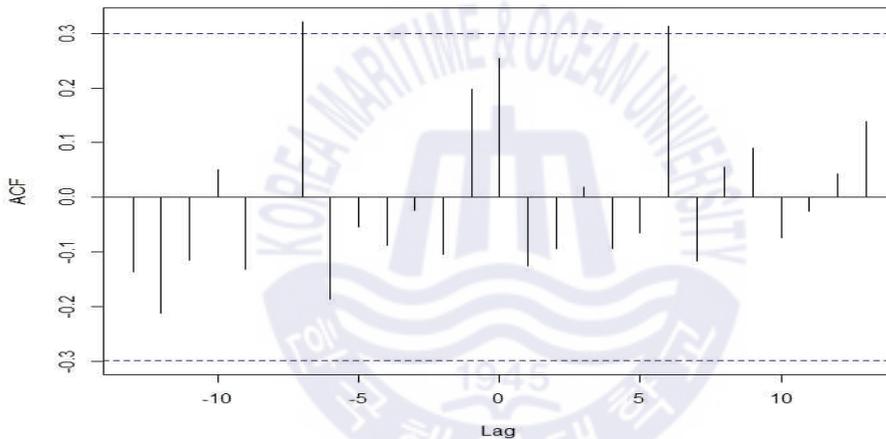


[그림 5-24] 조정된 월별 PM10 농도

고철처리량(U_t)과 PM10 농도(Z_t)를 통해 변환한 ' Z_t ' 간의 교차상관함수를 수행한 결과는 아래의 [표 5-9], [그림 5-25]와 같다.

[표 5-9] 고철처리량과 PM10 농도에 대한 시차별 상관분석

Lag	Correlation	Lag	Correlation	Lag	Correlation
1	-0.126	6	0.313	11	-0.025
2	-0.093	7	-0.116	12	0.043
3	0.018	8	0.055	13	0.138
4	-0.093	9	0.090		
5	-0.065	10	-0.074		

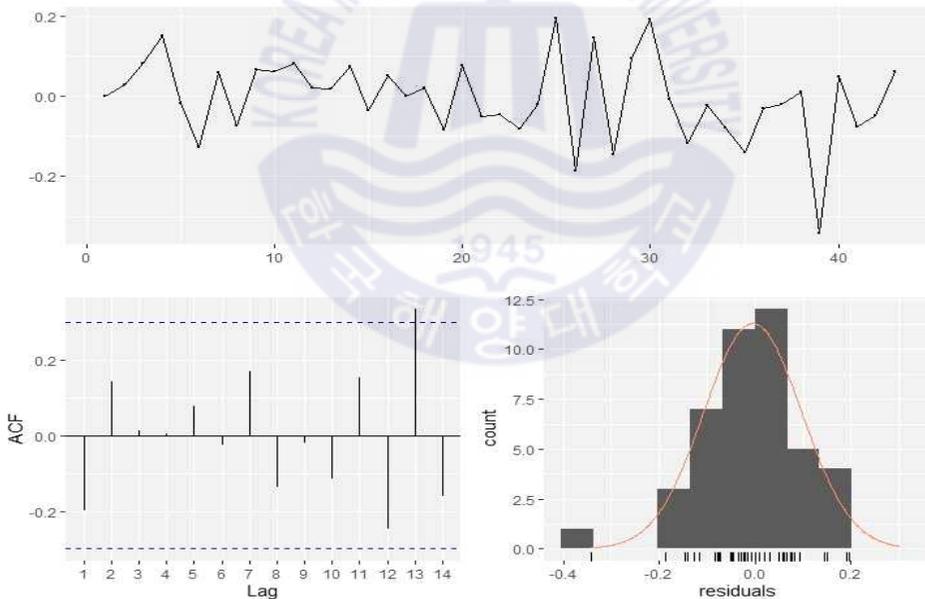


[그림 5-25] 고철처리량과 PM10 농도에 대한 전이함수 모형적합

로그변환 후 일차분한 ' Z_t '를 종속변수, 이에 대한 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 'Q'로 지정하였다. 로그변환 후 일차분한 ' Z_t '를 종속변수, 일차분한 ' U_t '를 독립변수로 하는 회귀식을 'R'로 지정하였다. 일차분한 ' U_t '를 종속변수, 일차분한 ' U_t '로부터의 시차를 독립변수로 하는 회귀식의 잔차를 'S'로 지정하였다. 'S ~ 0'까지의 시차를 고려하여 'Q'를 변수로 형성된 데이터프레임을 'T'로 지정하였다.

‘T’ 를 통해 ‘Q’ 를 종속변수로 하고 ‘S’ 를 독립변수로 하는 회귀식을 시차를 한 달로 고정한 후 최종 요약한 결과, 유의수준 ‘0.05’ 에서 $p\text{-value}=0.008433$, $R^2=0.1369$ 의 설명력을 지녔으며 ‘ Z_t ’ 의 오차항에 대해 ARIMA(1,1,1)의 전이함수모형이 도출되었고 이는 $AIC=-67.31$, $AICc=-66.68$, $BIC=-62.1$ 의 결과값을 나타냈다.

Portmateau Test(Ljung-Box Test)를 수행한 결과, $Q^*=5.6789$, $df=8$, $p\text{-value}=0.6832$ 로 오차항의 백색잡음 가정을 만족하였으며 자기상관성을 보이지 않았다. 또한 [그림 5-26]의 그래프를 통한 자기상관(ACF) 검토 결과, lag=13 부분에서 튀는 점이 나타났으나 시간에 따른 잔차의 변화가 크게 나타나지 않았고, 히스토그램이 정규분포를 나타내어 예측구간의 범위에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.



[그림 5-26] 평균이 ‘0’ 이 아닌 ARIMA(0,1,1)의 잔차

5.5. 분석결과요약

결과적으로, 주요화물처리량과 미세먼지 농도 간의 상관관계분석을 통해 고철처리량, 모래처리량으로 영향인자화물에 대한 후보군을 도출하였으며 고철처리량과 모래처리량을 독립변수로 전이함수모형을 활용해 인과관계를 검정한 결과, 감천항에서 처리되는 고철물동량으로부터 파생되는 직간접적인 활동(적하, 양하, 수송, 보관, 하역, 제조과정 등)들이 인근지역의 미세먼지 농도에 상당한 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

고철의 경우, 인근지역 미세먼지 농도에 대하여 유의수준 ‘0.05’에서 12.95%의 설명력을 나타냈다. 추가적으로 PM2.5 농도에 대하여 유의수준 ‘0.05’에서 11.53%의 설명력을 나타냈으며 PM10 농도에 대하여 유의수준 ‘0.01’에서 13.69%의 설명력을 나타냈다.

또한 감천항에서 처리되는 벌크화물은 2018년을 기준으로 시멘트처리량이 ‘1,872,964 천 톤’으로 가장 많고 고철처리량이 ‘75,403 천 톤’으로 가장 적으나 벌크화물 중에서도 화물을 처리하는 과정이나 화물의 특성에 따라 미세먼지(비산먼지)를 유발하는 정도의 차이가 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 향후, 감천항에서 미세먼지 저감방안을 마련할 때, 고철화물을 우선적으로 고려해야 가장 효율적인 개선방안이 마련될 수 있음을 도출하였다.

[표 5-10] 분석결과표

인과관계			Lag	Estimate	Std. error	t value	Pr(> t)	Adjusted R-squared	
종속 변수	PM 농도	독립 변수	고철	1	-9.096e-06	3.413e-06	-2.665	0.0111 *	0.1295
	PM2.5 농도		고철	1	8.177e-06	3.214e-06	2.544	0.0148 *	0.1153
	PM10 농도		고철	1	1.009e-05	3.647e-06	2.768	0.00843 **	0.1369
	PM 농도		모래	1	-3.001e-06	1.811e-06	-1.658	0.105	0.04088
	PM 농도		시멘트	1	-0.1545853	0.1284600	-1.203	0.236	0.01081

*, **, *** : 각각 1%, 5%, 10% 유의수준에서 귀무가설 기각

제 6 장 결론 및 향후 연구방향

6.1. 결론 및 시사점

고철 터미널에서의 화물 처리작업 과정은 전 세계 모든 항만에 걸쳐 유사하다. 하지만 작업 과정에서 발생하는 비산먼지나 소음으로 인한 인근 거주민들의 민원 등의 문제에 대응하기 위해 항만별로 이질적인 부분도 존재한다.

고철화물을 처리하는 업종은 제 1차금속제조업으로 분류되며 비산먼지와 같은 대기오염물질들에 대한 발생 억제시설을 설치하고 「대기환경보전법」에 따라 야적, 양하/적하, 수송, 이송에 있어서 조치사항을 이행할 의무가 있고 고철을 통해 제품을 생산하는 과정에서도 대기질 개선을 위한 대응방안이 마련되어야 한다. 특히 감천항과 감천항 인근에 위치한 고철처리 공장들에서는 작업 중, 발생하는 미세먼지를 저감하기 위해 고철처리과정에서의 공중투하 하역작업 금지, 방음벽 설치, 하역작업 시 살수작업/습식청소기운영/건설차량 운영 및 살수작업 병행, 공장에서의 옥내작업을 원칙으로 자동 출입문 설치 등 다방면으로 노력을 해오고 있지만 효과는 미비한 것으로 보이며 방지대책이 완전하지 못한 실정이다.

화물을 처리하는 과정에서 완벽하게 비산먼지 날림 현상을 방지하는 것은 어렵다. 하지만 벌크항만의 운영과정에 항만에서 발생하는 대기오염물질을 저감하기 위해 Dry Fog System을 운영하고 있는 외국의 일부 사례로 네덜란드의 Rotterdam Port, 미국의 Everglades Port, 대만의 Keelung Port를 들 수 있으며 Dry Fog System을 통해 미세먼지로 인한 대기오염을 80~95% 가량 저감하였으며, 효과적인 개선조치를 통해 가시적인 성과를 거두었다.

또한 현재 부산의 항만 인근지역에 위치한 대기질 관측소가 신항, 북항, 자성대에 위치하고 있으며 지속적인 대기질 모니터링이 이루어지고

있지만 벌크화물을 주로 처리하는 감천항에 대한 대기질 모니터링은 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 감천항의 대기오염원의 종류와 발생원을 정량화하고 대기질을 모니터링 할 수 있는 관측소를 설치하여 대기질 모니터링 네트워크를 형성하여 화물 처리과정에서 발생하는 대기오염물질의 상세한 비중과악이 가능할 수 있도록 대기질 관측소가 설치되어야 하고 대기질 개선을 위한 지속적인 노력이 필요하며, 컨테이너항만과 더불어 벌크항만의 대기질 관리 대책마련이 시급하다.

6.2. 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구에서는 감천항 자체 대기질 관측소의 부재로 인해 인근지역의 대기질 정보를 활용하여 감천항에서 처리되는 미세먼지 발생인자 화물을 도출하였으나 감천항 내부에 대기질 관측소가 설치된다면 더욱 정확한 분석이 가능할 것이다. 따라서 향후, 감천항 내에 대기질 측정소를 설치시, 주요 품목처리 부두별, 에이프런, 야적장과 같은 화물처리 공간별로 측정소의 입지를 고려할 필요가 있다.

또한 데이터 수집과정에 있어서 PM2.5의 경우, 인근지역 관측소로부터 2016년 1월을 기점으로 측정을 시작하였기에 변수 별로 비교할 수 있는 데이터 표본의 수집에 한계가 있었으며, 화물처리량 관점에서 인근지역 미세먼지 농도에 미치는 영향력을 파악하기 위해, 월별 벌크화물 물동량 데이터를 사용하였고 따라서, 미세먼지에 대한 일별 데이터를 월별 데이터를 재가공 할 필요가 있었다.

향후에는 중국의 황사와 같은 대외적 요인들과 을숙도 대교 인근도로를 경유하는 화물차량에서 발생하는 배기가스, 타이어로 인해 발생하는 비산먼지, 다양한 기후환경 등의 요인 등을 연구에 추가적으로 반영할 것이며, 더 나아가 벌크화물 별, 작업 프로세스를 단계적으로 구분하여 미세먼지 주요발생 작업에 대한 우선순위를 도출하는 연구가 요구된다.

참고문헌

논문

김유근, 손건태, 문윤섭, 오인보, 1999. 한국대기환경학회, 15(6), pp.779-789.

김상아, 박응섭, 김용익, 2003. 전이함수모형을 이용한 국민의료비 예측. 보건행정학회, 13(3), pp.91-103.

김대진, 2017. 해운산업 환경규제 강화에 따른 주요국 대응방안과 시사점, 산은조사월보, VOL40.

류병로, 조정석, 한양수, 1999. 전이함수잡음모형에 의한 공주지점의 용존산소 예측, 한국환경과학회, 8(3), pp.349-354.

이관형, 정호근, 강민구, 운용운, 2000. 전이함수를 이용한 산업재해 발생자 예측에 관한 연구, 보건정보통계학회, 25(2), pp.25-32.

유현상, 이호성, 장래현, 2010. ARIMA와 전이함수 모형을 이용한 출생자수 예측. 통계연구, 17(0), pp.111-123.

임성식, 2013. 주택가격지수 예측모형에 관한 비교연구. 한국데이터정보과학회, 25(1), pp65-76.

최경문, 김상현, 손미나, 김준, 2008. 전이함수를 통한 광릉 산림 구역의 토양수분 모델링. 한국농림기상학회, 10(2), pp.35-46.

도서

이재길, 2017. R프로그램에 기반한 시계열자료 분석.

보고서

국무조정실, 국토교통부, 해양수산부 등(관계부처 합동), 2017. 미세먼지 관리 종합대책.

강광규, 2018. 미세먼지 관리 종합대책(2018) 주요내용과 방향.

과학기술일자리진흥원, 2018. 미세먼지 기술동향 (집진저감기술 중심으로).

과학기술정보통신부, 성장동력기획과, 2019. I-KOREA 4.0 혁신성장동력 분야 성과 창출 본격 지원.

국무조정실 국무총리비서실, 2019. 보도자료 학교보건법 등 미세먼지 관련 5법 제/개정 의결.

과학기술정보통신부, 성장동력기획과, 2019. I-KOREA 4.0 혁신성장동력 분야 성과 창출 본격 지원.

부산과학기술기획평가원, 2018. (초)미세먼지 현황과 부산의 미래대응전략.

부산항만공사, 2018. 부산항 화물취급장비 대기오염물질 배출원 관리명부 작성.

법제처 법제조정출판법제관실, 2018. 항만 및 해양주변 지역의 대기 및 수질 환경개선을 위한 의원발의 법안.

육근형, 김근섭, 이기열 2017. 항만도시 미세먼지 대책 수립 시급, KMI동향분석, VOL28.

에너지경제연구원, 2019. ENERGY FOCUS 미세먼지 저감정책과 주요이슈.

최상희, 이연경, 전형모, 2015. 벌크항만 미래 기술개발 전략수립연구.

한국해양수산개발원, 2002. 항만하역 작업환경관리 개선방안.

- 한국해양수산개발원, 2014. 글로벌 해양시대를 선도하는 항만지역 선진화 방안연구.
- 한국해양수산개발원, 2016. 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리방안.
- 환경부, 2016. 바로 알면 보인다. 미세먼지 도대체 뭘까?.
- 한국해양수산개발원, 2017. 우리나라 배출규제해역(ECA) 도입 방안 연구.
- 해양수산부, 2018. 친환경 연료로 항만 미세먼지 잡는다 -해수부, 부산항 야드트랙터 연료전환[경유->LNG]사업 확대 추진.
- 해양한국, 2018. Focus 항만 미세먼지 통합관리 특별법 제정 추진.
- 한국토지주택공사 토지주택연구원, 2018. 항만재개발사업의 주변지역 연계를 통한 생활권계획 추진방안 연구.
- 한국해양수산개발원, 2019. 국내 항만의 대기오염물질 관리정책 및 제도 개선방안.
- 해양수산부 해양환경정책과, 2019. 혁신성장, 항만 인근 지역의 ‘맑은 공기, 숨쉴 권리’ 확보한다.
- 해양수산부, 2019. 2019년 해양수산부 업무계획[안].
- 한국해양수산개발원, 2019. 특별법 이행을 위한 항만 대기오염물질 관리제도 정비 시급, KMI동향분석, VOL111.
- 한국해양수산개발원, 2019. 항만지역 대기질 개선을 위한 데이터의 연계/활용방안 연구.
- OECD,2013. The Competitiveness of Global port Cities: Synthesis Report
- HAQCC, 2018. Harbours, Air Quality and Climate Change.
- icct, 2015. Distribution of air pollution from oceangoing vessels in the Greater Pearl River Delta.

Paul, R. (2008, April). Jewometaal Stainless Processing. Retrieved from <https://bit.ly/2oiR8f7>

Port of Long Beach, 2017. San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan
ResearchGate, 2018. Air Pollution from the Maritime Transport in the Romanian Black Sea Coast. World Maritime University, 2011. Air emissions: the effects on the shipping industry and ports: implications for the Port of Singapore.

Web

Annual volume overview and statistics for scrap metal operations in the port of Hamburg. Retrieved from: <https://www.hafen-hamburg.de>

Cain, K. (2012, June 29). Harboring a problem with air pollution from ships or ports. Retrieved from: <https://www.aeroqual.com>

David G, (2011. 04. 04) Tried and tested systems to control fugitive dust. Retrieved from. <https://bit.ly/2M8UbQ2>

Dry Fog machine for curbing air pollution. Retrieved from: <https://www.nodust.com/>

Dry fog agglomerative dust suppression systems by dust solutions (March 09, 2013). Retrieved from <https://www.nodust.com/>

Dry bulk annual volume overview for the port of Antwerp. (March 7, 2018). Retrieved from: <https://www.portofantwerp.com>

Dust suppression via remote control at scrap recycler. (Jan 04, 2019). Retrieved from <https://www.bosstek.com>

EU: “scrap metal no longer waste” end of waste regulation (March

31, 2011). Retrieved from <https://recyclinginternational.com>

Scrap terminal in Breslauer Straße, port of Hamburg. Retrieved from: <https://www.hafen-hamburg.de>

Successful Implementation of Portable Dry Fog System at Florida Port (April 25, 2017). Retrieved from <https://www.nodust.com/>

Guidelines for scrap metal carriage (February 18, 2018). retrieved from: <https://safety4sea.com>

South Holland air quality index (AQI) and PM2.5 air pollution (Oct 07, 2019). Retrieved from <https://www.airvisual.com/netherlands/south-holland>

Operational information on the port of Rotterdam (June 6, 2010). Retrieved from <http://www.worldportsource.com>

