

1. 비즈니스 문제 정의 및 분석 목적

1.1. 비즈니스 이슈

하나의 선박의 완성되기까지에는 수많은 자재가 필요하다. 선박의 뼈대가 되는 강재에서부터 선박의 혈관인 파이프, 그리고 그것들을 연결해주는 볼트와 너트가 모두 제 시간에 있어야 선박이 계획된 시간 내에 건조된다. 자재는 주문 여부에 따라 주문재(POR, Purchase of Request)와 자율불출재로 구분된다. 주문재는 설계 당시부터 계획에 맞게 제작협력사로 발주되거나 현장의 추가 요구에 따라 주문되어, 제작 요구일에 맞춰 요청된 장소로 입고된다. 이에 반해 자율불출재는 자재 부서에서 정해진 기간마다 창고에 보충하며, 근로자들이 자신의 작업에 맞게 창고에서 반출한다.

이러한 입고 프로세스의 차이로 인해, 주문재는 전산 상으로 주문량 및 사용량이 계측되는 반면, 자율불출재는 근로자가 일일이 돌아다니며 재고를 파악해야 하며 사용량은 구체적으로 측정되기 힘들다. 더군다나 현대미포조선¹⁾은 30만 평(100만m²) 부지에 17개의 자율불출창고를 운영하고 있는데, 관리자가 모든 창고를 일일이 돌아다니며 관리하기에는 비효율적이다.

[그림-] 현대미포조선 전경



[그림-] 자율불출재 예시

[그림-] 자율불출재 수기 관리 현황

1) 울산 동구 방어동에 위치한 중현선박 건조 세계 1위의 조선소



우리 팀은 스마트 저울(Smart Tray)를 이용해 자율불출자재를 원격으로 모니터링하고 계측된 값으로 새로운 적정 재고를 산출하는 과제를 진행하였다. 스마트 저울은 1분마다 로드셀(Load Cell)로 저울에 올려진 자재의 무게를 측정하고, 라즈베리파이(Raspberry Pi)로 측정된 정보를 데이터베이스에 전송하도록 설계되었다. 무게의 변화는 표준 단중과의 비교를 통해 자재 사용량을 보여준다.

스마트 저울은 그 효과를 검증하기 위해 2번 창고에만 시범 설치되었다. 2번 창고에는 총 106개의 스마트 저울과 4대의 라즈베리파이가 설치되었으며, 설치는 2019년 1월 18일에 완료되었다.



3개월 동안 스마트 저울 데이터가 끊김없이 측정 및 저장되었으며, 이 데이터를 토대로 5월부터 데이터 분석이 시작되었다.

1.2. 적정 재고 산출의 필요성

적정 수준의 자재를 유지하는 것은 기업에 중요한 과제이다. 자재를 넘치게 보유한 경우 근로자가 원하는 만큼 자재를 공급할 수 있지만, 반대로 저장공간 확보와 재고유지를 위한 금융비용 증가 등으로 기업의 이익이 하락하는데 영향을 미친다. 그렇다고 자재를 부족하게 보유하게 되면, 근로자가 필요한 시기에 자재가 없게 되어, 전체 공정이 늦춰지는 결과를 가져오므로 이

또한 기업에 좋지 않다.

그러므로 이번 캡스톤 프로젝트를 통해 각 자재의 정확한 사용량을 측정하고 기존의 적정 재고가 아닌 새로운 적정 재고를 산출하고자 한다.

1.3. 자재 수요량 파악

모든 선박이 같은 자율불출재를 필요로 하는 것은 아니며, 같은 자재가 필요하더라도 그 양이 다를 수 있다. 그러므로 도크에 건조되는 선박에 따라 창고에 배치해야하는 품목 역시 달라지며, 자재 주문량 역시 조절되어야 한다. 이번 프로젝트에서는 스마트 트레이로 얻은 자재 사용량 정보와 도크에서 건조 중인 선박의 특징을 연결하여 선종별 자재 사용 패턴을 알아보고자 한다.

2. 데이터 수집 및 전처리 변수 소개

2.1. 데이터 소개

2.1.1. 센서 데이터

데이터명	Smartdb.csv	
인스턴스 개수	13,845,357	
기간	2019.01.24. ~ 2019.04.24. (3개월)	
데이터 크기	422.5 MB	
변수 소개		
변수명	타입	내용
deviceName	Text	스마트 저울 이름
weight	Int	측정된 무게
datetime	Datetime	측정된 시간

2.1.2. 스마트 저울 데이터

데이터명	트레이 표준 정보.csv	
인스턴스 개수	106	
데이터 크기	5 KB	
변수 소개		
변수명	타입	내용
트레이	Text	스마트 저울 이름
자재 코드	Text	자재에 할당된 코드
품명 및 사양	Text	자재의 품명 및 사양
표준 단중	Float	자재별 기준 단위당 무게
적정 재고	Int	현재 데이터베이스 상에 등록되어 있는 적정 재고 수준
단가	Int	자재별 단위당 가격

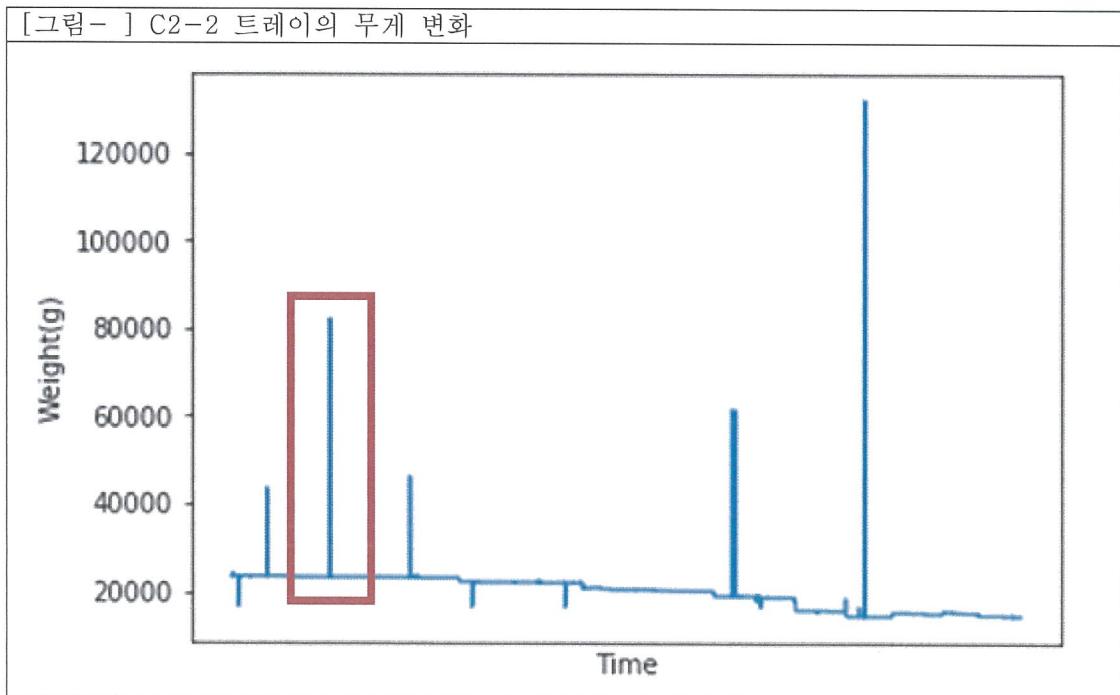
2.1.3. 건조 호선 데이터

데이터명	호선_선표_schedule.csv	
인스턴스 개수	26	
데이터 크기	2.7 KB	
변수 소개		
DOCK NO	Int	도크 번호 (1~4도크)
배치	Int	고유 배치 번호
호선	Text	선박 코드
호선명	Text	선박명
선종	Text	선박의 종류
선형	Text	선박의 크기
선주	Text	선박 주인
선급	Text	선박 건조 감정인
K/L일자	Datetime	Keel Laying. 용골 일자
L/C일자	Datetime	Launching. 진수 일자
전체길이	Float	선박의 전체 길이
폭	Float	선박의 폭
깊이	Float	선박의 깊이

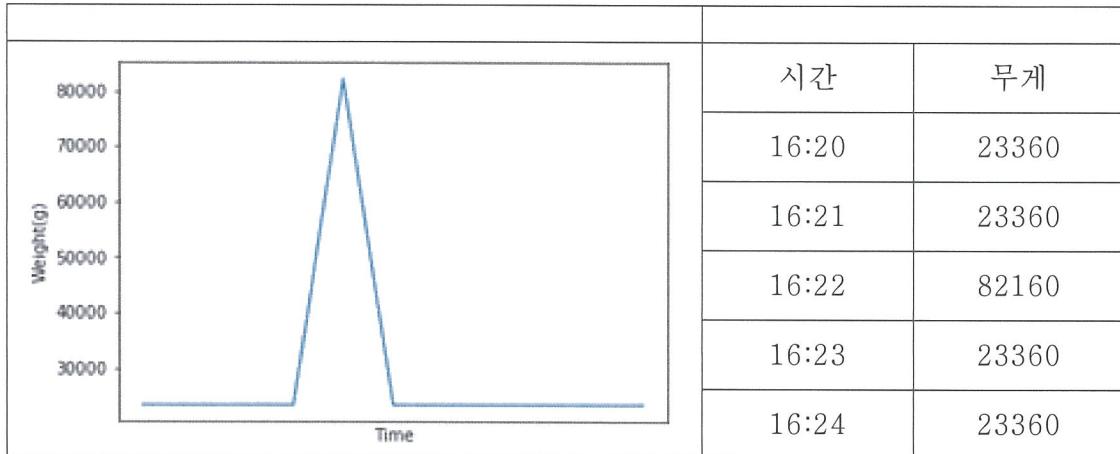
2.2. 전처리

무게 데이터에서는 실제 자재 사용에 의한 무게 변화 뿐만 아니라, 다른 요인에 의한 무게 변화 역시 측정되어 있다. 다른 요인으로는 창고 문 개폐, 근로자의 부주의 등이 있다.

[그림-]에서 보듯이 측정된 무게가 한 순간에 급격히 증가했다가 감소하는 지점이 있으며, 반대의 경우도 존재한다.



[그림-]의 빨간 부분을 확대해보면 실제로는 1분 사이에 무게가 3배 이상 증가했다 원래 수치로 돌아옴을 확인할 수 있다.

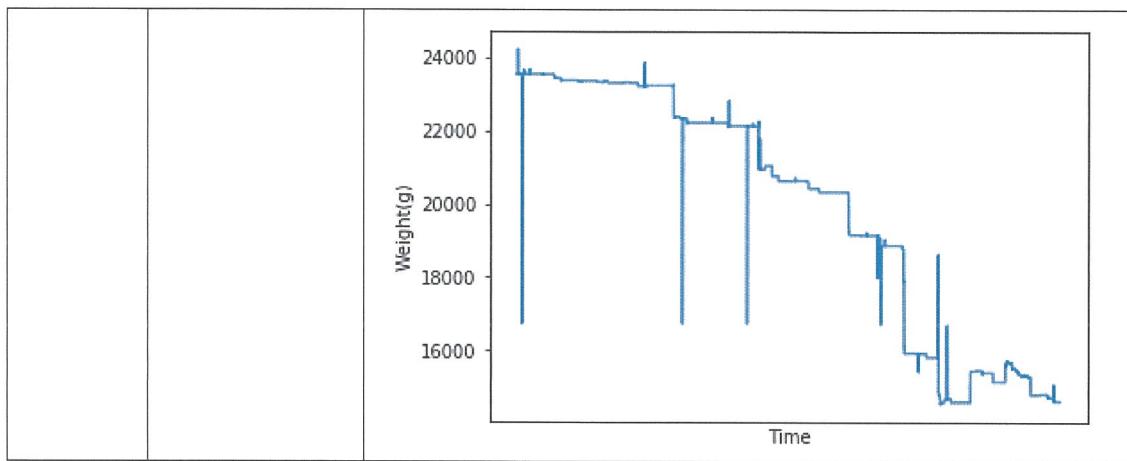


이런 무게 변화는 자재의 실사용이 아닌 외부 요인으로 인한 무게 변화로 추정되기에 정확한 사용량을 알기 위해서는 제거되어야 하는 부분들이다. 이런 특이점들을 제거하기 위해 2가지 방법이 순차적으로 진행되었다.

2.2.1. 중간값의 2배 이상 제거

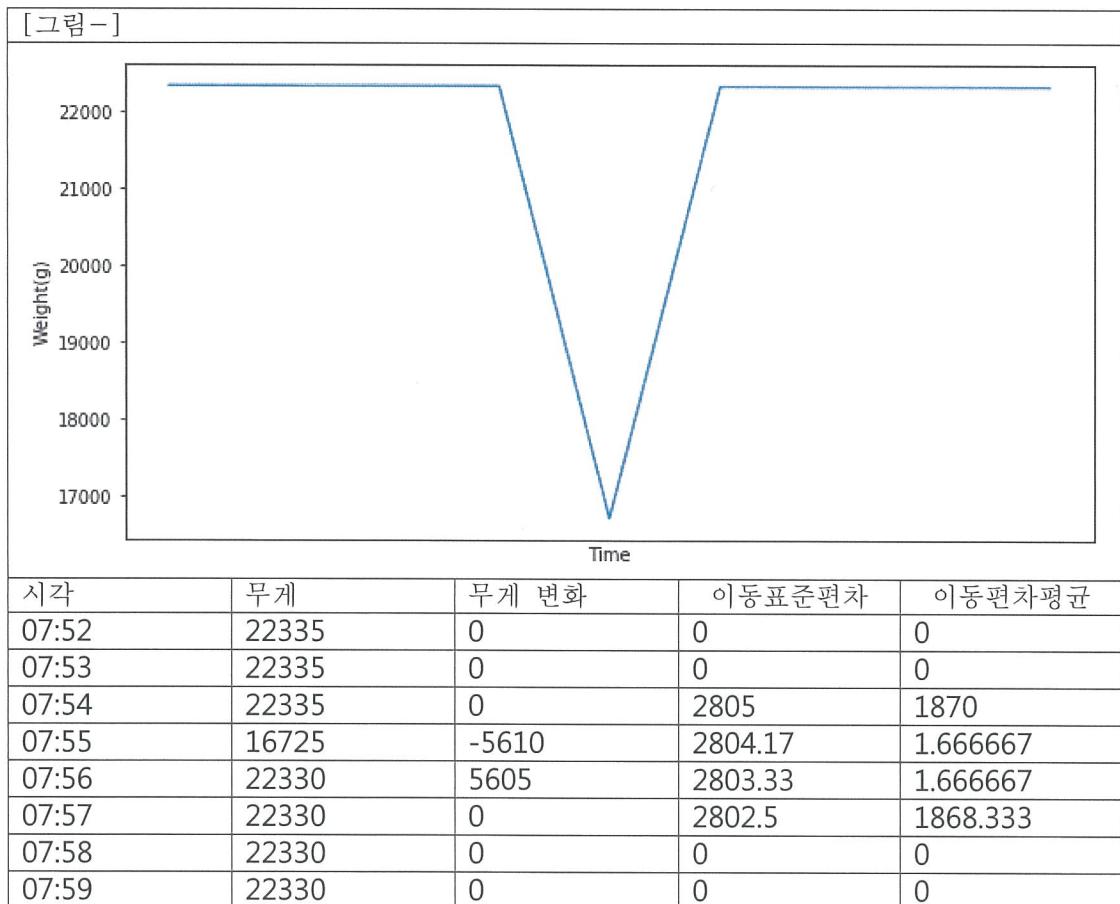
다시 [그림-]을 보면 특이점들은 정상 무게 데이터보다 4배 이상 크다. 그러므로 무게의 중간값보다 2배 이상 큰 데이터들을 삭제한 뒤 앞의 수가 동일한 무게로 가정하는 조치를 취했다. [그림-]은 이러한 조치 이후의 무게 데이터 그래프이며, 극단적으로 높았던 값들이 제거되었음을 확인할 수 있다. 그러나 여전히 그래프 상에서 특이점들을 발견할 수 있고, 이러한 값을 처리하기 위해 다음 조치가 취해졌다.

[표-] C2-2 트레이 무게 데이터 기술 통계		[그림-] 중간값*2 제거 후 무게 데이터
평균	19938.81	
표준편차	3313.80	
최소	14545	
25%	15920	
50%	20635	
75%	23235	
최대	132080	

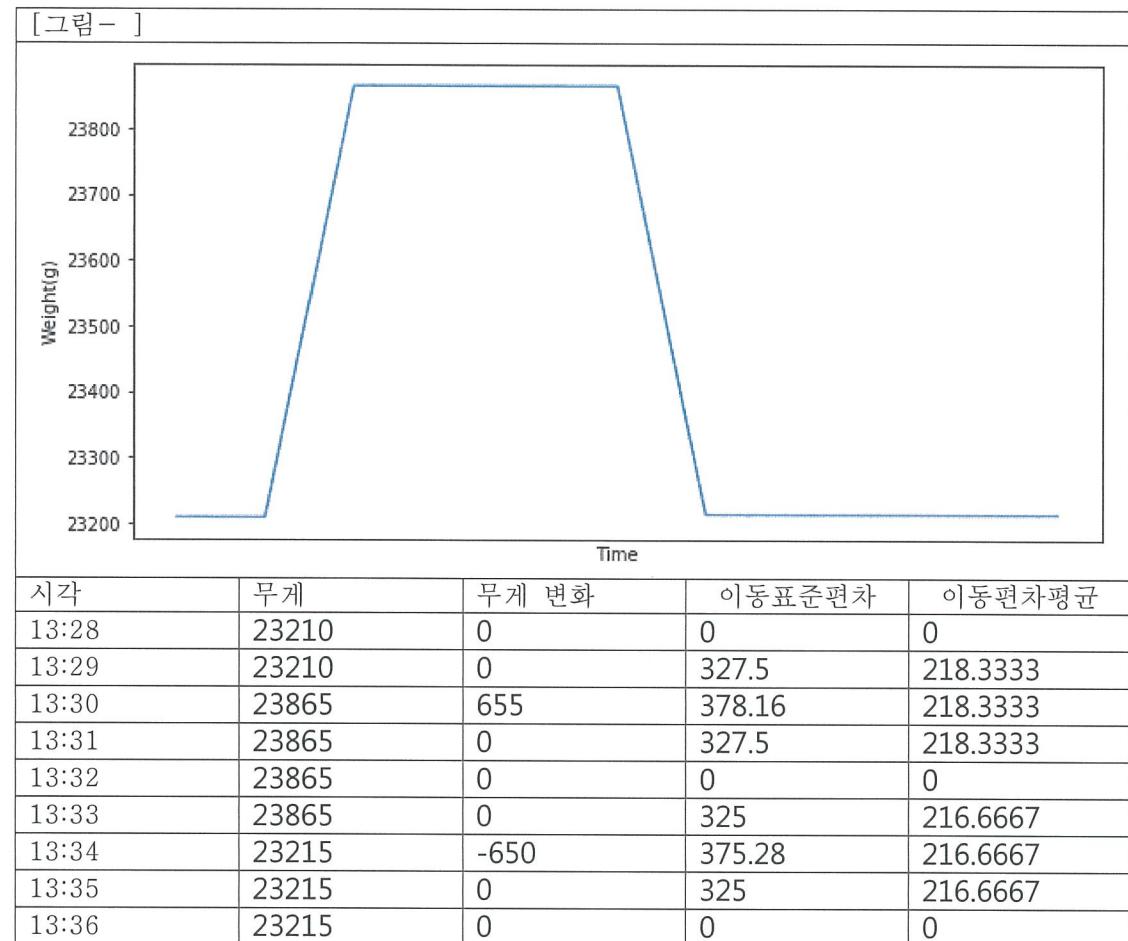


2.2.2. 이동 편차 평균이 2보다 낮은 값 제거하기

잠시동안 뛰는 특이점들은 그 근방에 이동표준편차는 높은 반면, 이동편차평균은 상당히 낮으며, 2를 넘지 않는 것으로 나타났다. 그래서 이러한 부분을 제거하면 이 부분은 정상적인 상태로 돌아온다. 그러나 이러한 방법으로 모든 부분이 해결되지는 않는다.



앞의 경우는 1분 사이에 무게가 튀었지만, 데이터 속에는 2분부터 시작해서 많으면 1시간 넘게 데이터가 튀는 경우가 발생했다. 그래서 이 단계에서부터는 어느 정도의 시간이 외부적 오류인지 주관적으로 결정해야만 했다.

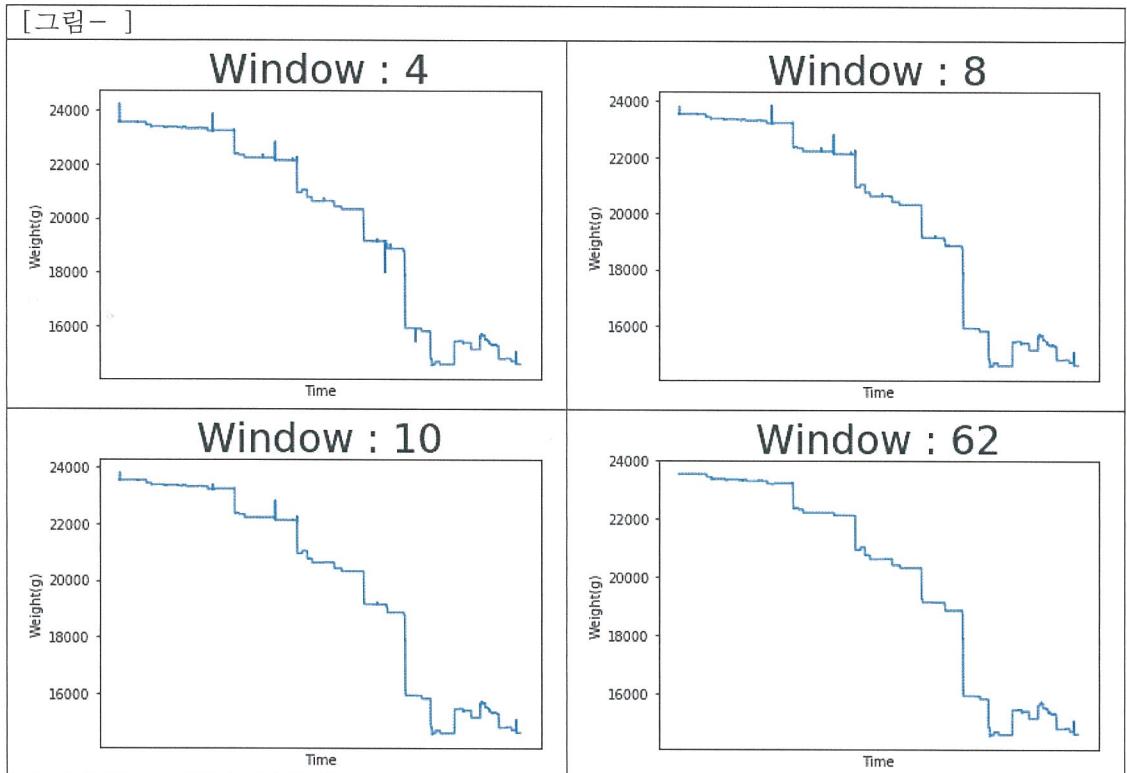


[그림-]의 경우는 4분 동안 데이터가 튀은 경우인데, 이 경우 이동편차평균이 2보다 작지 않으므로 앞서 진행된 프로세스로는 제거되지 않는다. 이 경우 이동량을 늘리면 문제가 해결된다. [표-]는 이동량을 10으로 늘려서 나온 결과로, 특히 점 부분의 이동편차평균이 2보다 작음을 알 수 있다. 이러한 방식으로 이동량을 62까지 누적적으로 증가시키면 상당한 시간의 오류도 제거할 수 있다.

시각	무게	무게 변화	이동표준편차	이동편차평균
28:15.2	23210	0	316.4	72.77778
29:13.0	23210	0	338.24	72.77778
30:11.1	23865	655	337.81	0.555556
31:09.1	23865	0	337.39	0.555556
32:09.8	23865	0	336.96	0.555556
33:08.0	23865	0	336.52	0.555556

34:06.0	23215	-650	336.09	0.555556
35:04.2	23215	0	335.66	72.22222
36:02.0	23215	0	313.98	72.22222

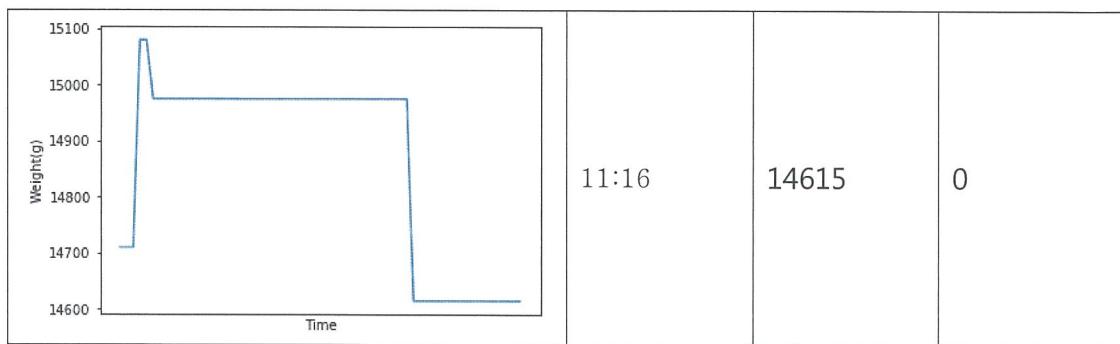
[그림-] 은 C2-2 트레이 데이터의 특이점들을 누적적으로 제거한 그래프들이다. 이동량(Window)가 증가할수록 뾰족한 부분들이 사라짐을 알 수 있다. 하지만 여전히 뾰족한 부분이 남아있는 경우가 있는데,



[그림]에 남아있는 뾰족한 부분을 확대해보면 [그림]가 되는데, 이는 트레이에 짐을 올려뒀다가 45분 후에 다시 가져간걸로 해석할 수 밖에 없으나 시간 간격이 너무 길어 제거할 수 없다. 그래서 이런 부분들은 제거할 수 없는 영역이라고 여기고 분석을 진행하였다.

[그림-]

	시작	무게	무게 변화
	10:33	14710	0
	10:34	15080	370
	10:35	15080	0
	10:36	14975	-105
	10:37	14975	0
	...		
	11:14	14975	0
	11:15	14615	-360



2.2.3. 모델링을 위한 데이터셋 생성

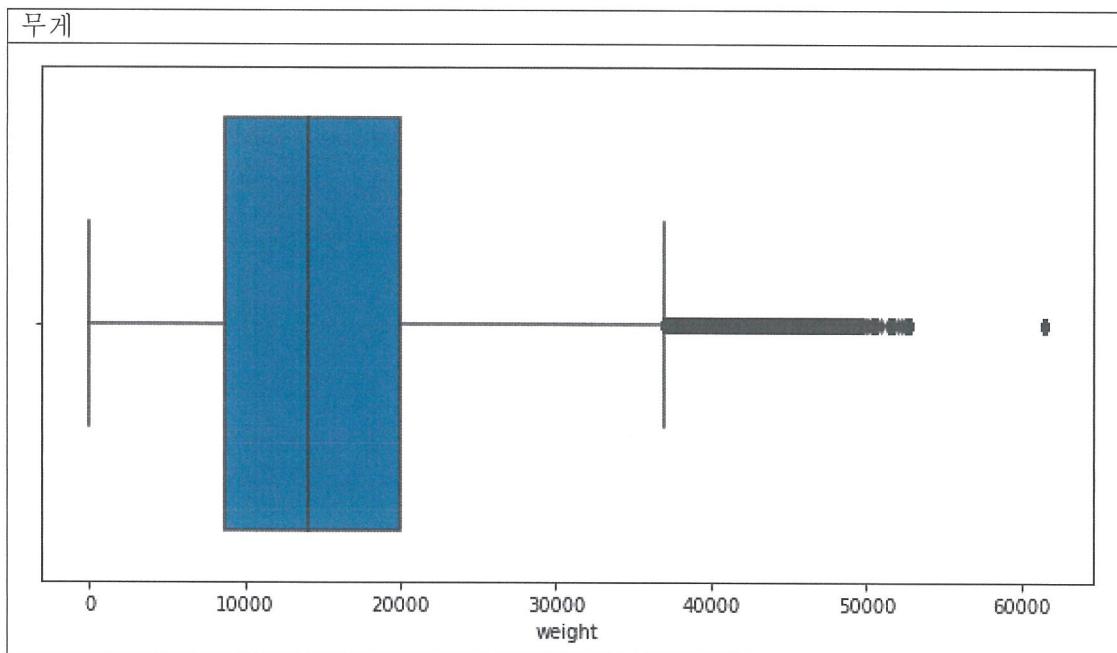
앞의 전처리 과정을 통해 트레이별 사용량을 정확하게 파악할 수 있다. 이제 이 사용량을 예측하기 위해서는 기존에 가지고 있는 데이터셋을 변형해야 한다. 건조 호선 데이터에는 트레이 데이터가 측정된 기간 동안에 도크 (Dock)에서 건조 중인 선박의 데이터가 들어있다. 이 데이터를 이용해 각 사용량이 측정되는 시점에 도크에서 건조 중인 선박의 특징들을 독립 변수 (Independent Variable)로 설정했다. 선박의 특징에는 선박의 선종, 길이, 폭, 깊이가 있다. 이 데이터의 독립 변수 항목은 다음 [표-]와 같다

[표-]	
변수명	변수 설명
CONT_count	도크에서 건조 중인 Container선의 수
CONT_depth	도크에서 건조 중인 Container선의 깊이의 합
CONT_length	도크에서 건조 중인 Container선의 길이의 합
CONT_width	도크에서 건조 중인 Container선의 폭의 합
CT_count	도크에서 건조 중인 CT선의 수
CT_depth	도크에서 건조 중인 CT선의 깊이의 합
CT_length	도크에서 건조 중인 CT선의 길이의 합
CT_width	도크에서 건조 중인 CT선의 폭의 합
LEG_count	도크에서 건조 중인 LEG선의 수
LEG_depth	도크에서 건조 중인 LEG선의 깊이의 합
LEG_length	도크에서 건조 중인 LEG선의 길이의 합
LEG_width	도크에서 건조 중인 LEG선의 폭의 합
RORO_count	도크에서 건조 중인 RORO선의 수
RORO_depth	도크에서 건조 중인 RORO선의 깊이의 합
RORO_length	도크에서 건조 중인 RORO선의 길이의 합
RORO_width	도크에서 건조 중인 RORO선의 폭의 합
total_count	모든 도크에서 건조 중인 선박의 수
total_depth	모든 도크에서 건조 중인 선박의 깊이의 합
total_length	모든 도크에서 건조 중인 선박의 길이의 합
total_width	모든 도크에서 건조 중인 선박의 폭의 합

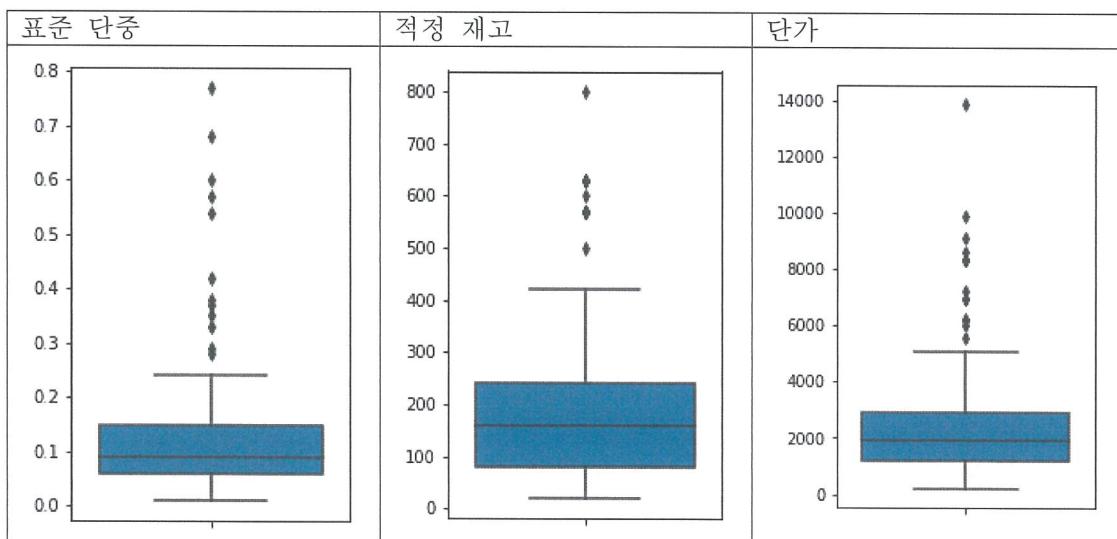
3. 데이터 탐색

3.1. 트레이 데이터

무게 데이터의 분포를 살펴보면 이상값(Outlier)가 상당히 많음을 알 수 있다. 앞 단계에서 전처리를 했음에도 이런 그래프를 보이는 것은 트레이 자체나 운영 측면에서 개선해야 할 사항이 있음을 시사한다.



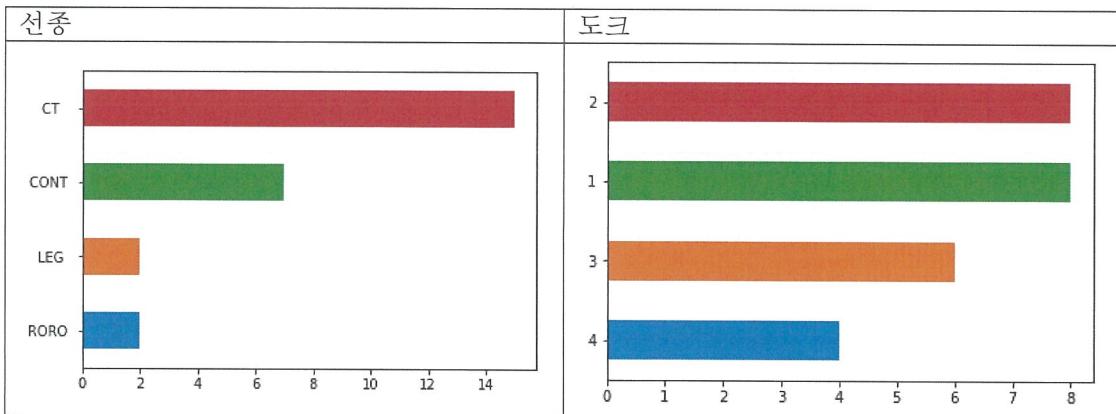
표준 단종, 적정 재고, 단가 같은 데이터에도 이상값이 존재하지만, 이 값들은 회사 내부에서 결정된 사안이기에 이상값이라 볼 수 없다.



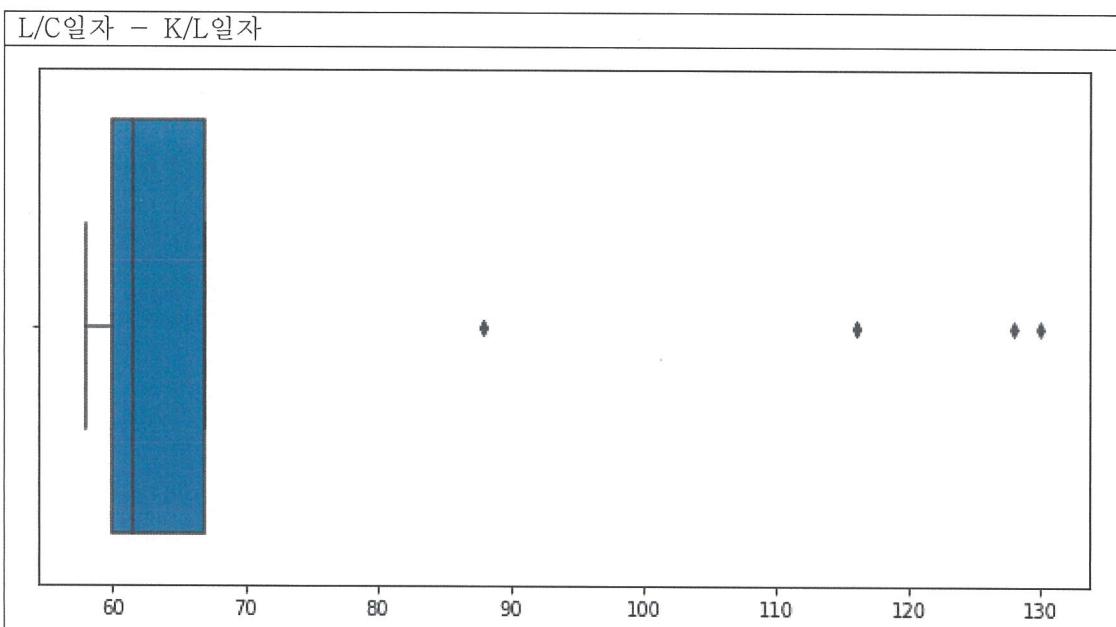
3.2. 도크 데이터

트레이 데이터 측정 기간 동안 도크에서 건조된 선박의 종류는 CT, CONT,

LEG, RORO이다.²⁾ 이 중에서도 CT선이 가장 많이 건조되었다. 도크 중에는 1, 2 도크에서 선박이 가장 많이 건조되었고, 4 도크에서는 1, 2 도크의 절반만큼 건조되었다.



도크에서 선박 건조가 착수되고부터 진수되기까지 평균 62일 정도의 시간이 소요되지만 경우에 따라 100일이 넘어가는 경우도 있다.



선박의 길이, 폭, 깊이 데이터에는 상당히 낮은 값의 데이터가 존재하는데, 이 데이터들은 크기가 작은 4 도크에서 건조된 선박들의 치수이다.

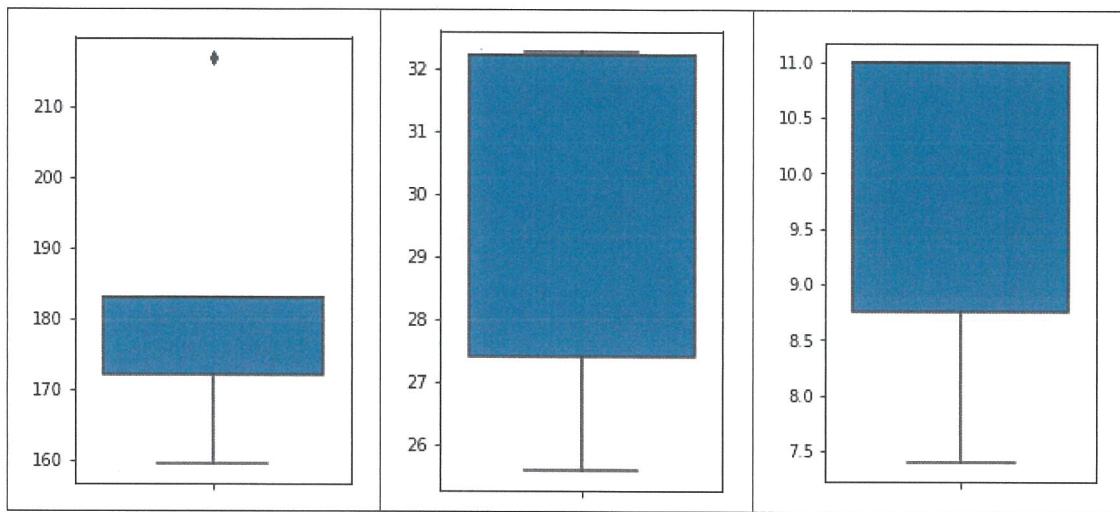
전체길이	폭	깊이
------	---	----

2) CT : 화학제품운반선

CONT : 컨테이너선

LEG : LEG 운반선

RORO : 화물을 실은 차량을 그대로싣고 내리는 방식의 컨테이너선



4. 분석 방법론 선택

4.1. 신규 적정 재고 산출을 위한 적정 재고 산출식

적정 재고를 계산식만으로 정하는 것은 쉽지 않은 일이기는 하나, 현재 많은 기업에서 주기재고와 안전재고의 개념으로 적정 재고를 산출하고 있는 실정이며 우리도 이 산출식을 적용하였다.

■ 주기재고

주기재고는 재입고되는 시점까지 예상되는 수요량에 대응하는 수요 예상 재고이며, 보충주기에 따라 일시적으로 증가했다가 점차 감소하는 특징을 가지고 있다. 주기재고는 아래 수식과 같이 구한다.

$$\text{주기재고} = \text{평균수요} \times \text{공급리드타임}$$

여기서 평균수요란 정해진 기간 동안 평균적으로 근로자가 사용한 양을 의미하고, 공급리드타임은 주문 후 정해진 창고까지 자재가 배송되는데 걸리는 시간이다. 실무적으로는 실제 수요를 과거 1~3년 데이터를 기반으로 산정하기에, 3개월 치 스마트 데이터로는 엄밀한 측정은 힘들다.

■ 안전재고

안전재고란 예상치 못한 수요나 공급의 변동에 대응하기 위한 여유 재고로 수요변동성, 공급변동성을 통해 각 자재별로 사용추세에 따라 매월 수량이 가감되도록 산정하며 아래 수식과 같이 구한다.

$$\text{안전재고} = \text{수요표준편차} \times \text{서비스계수} \times \sqrt{\text{공급리드타임}}$$

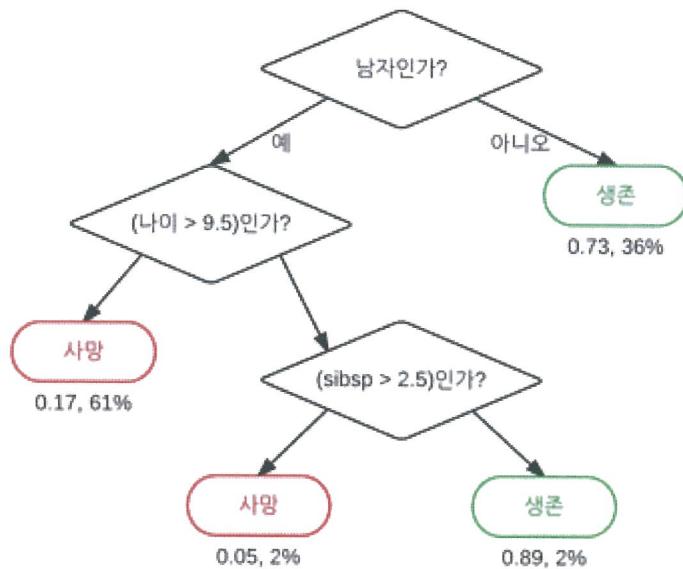
여기서 수요표준편차란 과거에 근로자가 사용한 양에 대한 표준편차를 의미하고, 서비스계수는 조달기간 중 자재의 부족 없이 근로자의 모든 수요를 만족시킬 확률로서 아래 표와 같이 기업이 전략적으로 결정해야 할 변수이다.

서비스 계수	서비스율	결품율
1.00	84.10%	15.90%
1.65	95.00%	5.00%
2.06	98.00%	2.00%
2.33	99.00%	1.00%
3.49	99.98%	0.02%

4.2. 선종별 자재 사용 패턴을 파악하기 위한 회귀 결정 트리

결정 트리(Decision Tree) 학습법은 몇몇 입력 변수를 바탕으로 목표 변수의 값을 예측하는 모델을 생성하는 것을 목표로 한다. 이번 프로젝트에서는 결정 트리 모델에 2.2.3에서 생성했던 데이터 셋을 투입하여 각 자재가 어떤 선종에 따라 사용량이 달라지는지 살펴보자 한다.

[그림] 결정 트리 학습법의 예



5. 분석 결과

5.1. 신규 적정 재고 산출

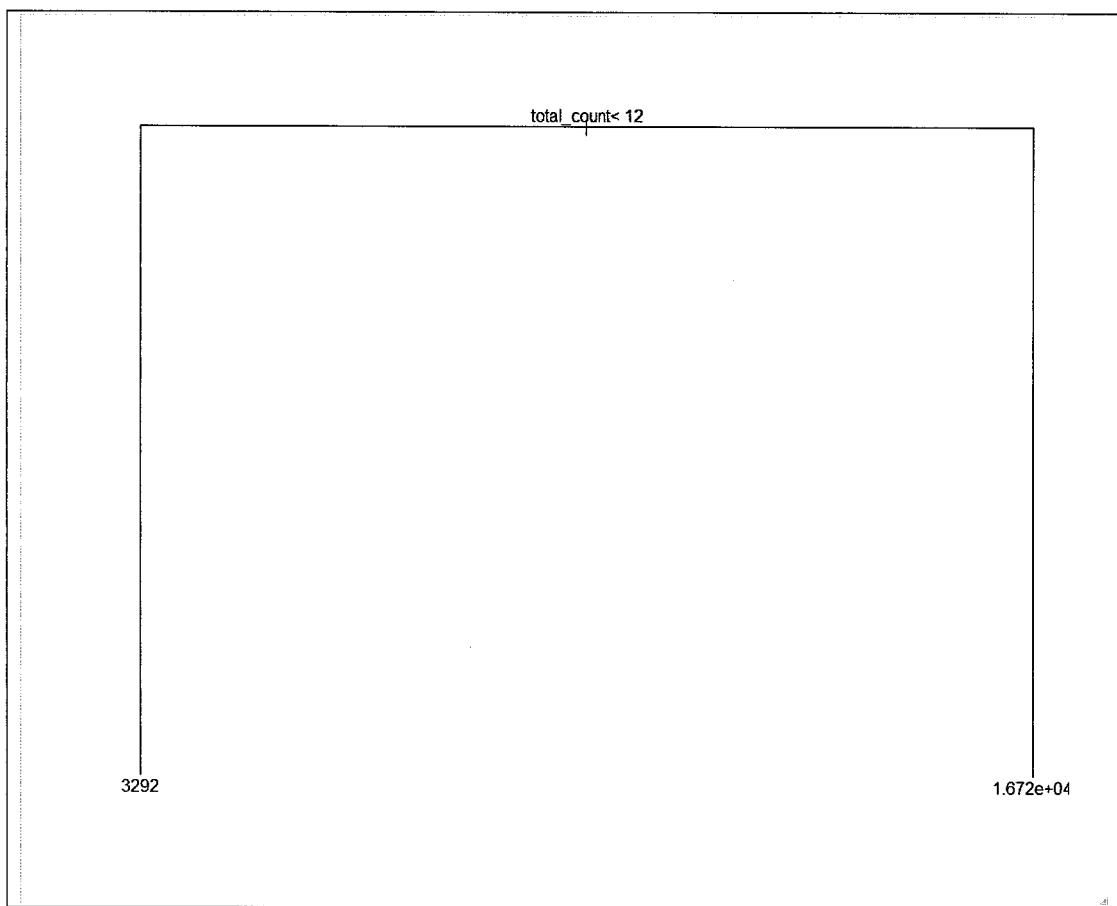
주기재고와 안전재고의 개념을 적용해 [표-]와 같이 새로운 적정 재고를 산출할 수 있었다. 새롭게 산출된 적정 재고는 기존의 적정 재고보다 많을 수도 있고 작을 수도 있다. 신규 적정 재고가 기존 적정 재고 보다 많은 경우 자재 부족으로 인한 공정 지연을 예방할 수 있으며, 반대로 신규 적정 재고가 기존 적정 재고보다 작은 경우 불필요한 비용을 감소시킬 수 있다.

트레이	품명 및 사양	기존 적정 재고	현재 재고	1일 평균 사용량	1일 최대 사용량	1일 평균 재고량	신규 적정 재고
C2-6	MALE CONNECTOR SUS316L MALE/BITE PT1/4"O/D10Ø	240	267	12	205	373	476
A1-16	LINER PLATE TEFLON 3T*20A	200	276	6	24	408	420
C3-8	UNION SUS316L BITE TYPE O/D6Ø	500	628	4	45	678	701
A4-8	GASKET GRAPHITE FILLER SPIRAL WOUND TYPE W/C.S OUTER RING 10KG/CM2*32A	240	466	7	36	421	439
C2-3	MALE CONNECTOR SUS316L MALE/BITE PT3/8"O/D6Ø	260	417	4	42	426	447
C2-1	MALE CONNECTOR SUS316L MALE/BITE PT1/4"O/D12Ø	190	420	5	16	355	363
A3-3	MALE CONNECTOR BRASS MALE/BITE PF1/4"O/D10Ø	150	323	5	29	307	322
C2-11	UNION SUS316L BITE TYPE O/D8Ø	600	630	15	147	687	761
C2-2	MALE CONNECTOR SUS316L MALE/BITE PT1/4"O/D8Ø	220	243	8	50	332	357
A4-3	GASKET GRAPHITE FILLER SPIRAL WOUND TYPE W/C.S OUTER RING 10KG/CM2*100A	60	164	4	10	191	196
A2-17	REDUCING UNION BRASS BITE TYPE O/D10Ø*O/D8Ø	100	218	5	31	193	209
C1-3	MALE CONNECTOR SUS316L MALE/BITE PT3/8"O/D8Ø	190	372	6	31	282	298
C4-6	UNION SUS316 BITE BULKHEAD ATTACHED WELDING TYPE O/D8MM	100	201	4	9	201	206
A3-4	MALE CONNECTOR BRASS MALE/BITE PF1/4"O/D10Ø	240	394	5	29	330	345
A3-2	MALE CONNECTOR BRASS MALE/BITE PT1/2"O/D6Ø	100	251	2	6	201	204
A4-10	GASKET GRAPHITE FILLER SPIRAL WOUND TYPE W/C.S OUTER RING 10KG/CM2*20A	360	447	8	32	448	464

[표-]는 서비스계수와 공급리드타임을 조절하여 나온 2번 창고 자재비의 절감액과 변화율이다. 몇몇 자재의 신규 적정재고가 증가하였음에도, 전체적으로는 총 자재비가 감소하는 결과를 보여줬다.

납기	표준납기		납기10		납기15		최단납기	
	서비스 계수	절감액	변화율	절감액	변화율	절감액	변화율	절감액
1	-64%	32%	-75%	-31%	-78%	-49%	-77%	-52%
1.65	-62%	63%	-72%	-11%	-76%	-33%	-74%	-36%
2.06	-63%	82%	-69%	1%	-75%	-23%	-73%	-27%
2.33	-61%	94%	-67%	9%	-74%	-17%	-72%	-20%
3.49	-56%	148%	-65%	44%	-67%	12%	-65%	7%

5.2. 선종별 자재 패턴 파악



.d1

	CT	CONT	LEG	RORO	Total
Count					
depth					
length					
width					

6. 비즈니스에 대한 예상 영향 분석