

스프린터 캐리어(Sprinter Carrier)의 보증기간 중 발생한 고장에 관한 연구

안 성 관 · 곽 춘 종

1. 서론

부산항은 “21세기를 선도하는 환태평양 중심항”이라는 슬로건과 함께 한반도 동남단에 위치하여 태평양과 아시아대륙을 연결하는 관문의 역할을 하고 있는 우리나라 제1의 항만으로서 우리나라 총 해상수출화물의 34%, 컨테이너 화물의 75%, 전국 수산물생산량의 13%를 처리하고 있으며, 북항, 남항, 감천항, 신항, 다대포항으로 구성되어 있다 (부산항만공사).

그 중에서 부산항 신항은 21세기를 대비한 동북아 국제 물류와 비즈니스 중심항만으로 구축, 국제 컨테이너 주항로 상의 중심항(Hub-port) 위상 확보, 동북아 경제권의 관문항으로서의 국제 환적항 기능제고, 부산항의 만성적인 화물적체 해소로 국가 경쟁력 제고, 항만과 도시기능이 조화된 종합물류정보 거점공간 조성이라는 5가지 큰 목적을 가지고 건설사업이 1995년에 시작되어 2020년까지 완료할 계획이다. 부산항 신항 사업으로 인해 컨테이너 연간 1,584만 TEU(Twenty foot Equivalent Units, 20피트 길이의 컨테이너 크기를 부르는 단위) 및 기타 잡화 717만톤 처리가 가능한 사업효과를 기대하며, 신항만 건설에 따른 배후부지까지 감안하면 대규모의 국가적인 사업이다 (부산항만공사).

그 중에서 주식회사 비엔씨티 (Busan New Container Terminal, BNCT)는 부산신항 2-3 단계 민간주도로 개발된 컨테이너 터미널이며, 2015년부터 연간 최대 270만 TEU를 처리할 수 있는 능력을 보유하게 된다 (주식회사 비엔씨티). 이 터미널은 반자동화 (Semi-auto), 수직배열이 터미널 설계에 적용되었다.

수직배열 방식은 컨테이너 처리 과정에서 사람이 없는, 즉 자동화 터미널에 적합한 방식이며, 비록 반자동화 터미널이지만, 우리나라 컨테이너터미널 중에서 주식회사 비엔씨티에 최초 적용되었다. 그 특징으로 안전성과 신속한 물류처리, 낮은 운용비용이라는 장점이 있지만, 높은 초기 투자비용이라는 단점이 있다 (박춘화, 2008).

컨테이너 터미널의 수직(Vertical)배열이란, 컨테이너 수송선의 접안 방향을 기준으로 컨테이너를 수직되게 야드(Yard)에 배치한다는 것을 의미한다. 이와는 반대되는 개념으로 수평(Horizontal) 배열 방식이 있다. 수평배열 방식은 기존의 우리나라 터미널에 적용된 방식으로서 컨테이너 수송선의 접안 방향을 기준으로 컨테이너를 수평으로 야드(Yard)에 배치한다는 것을 의미한다.

위 두 가지 컨테이너 배열방식에 따라 컨테이너 터미널의 운영방식 또한 달라지는데, 우선 기존우리나라에서 운영 중인 컨테이너 터미널은 수평배열로 외부의 트레일러(컨테이너 이동 차량으로, 터미널 외부 운행 가능)가 터미널 내부에서 컨테이너의 이송을 돕는다. 이때 터미널 내부 트레일러(터미널 외부 운행 불가)도 같은 지역을 운행하기 때문에, 복잡도

가 높아지고, 그에 따른 사고의 위험이 높다.

수평배열을 적용하여 2011년에 새로 개장한 주식회사 비엔씨티는 외부의 트레일러가 컨테이너 터미널의 일부 지역만 제한적으로 운행할 수 있다. 기존 터미널 방식에서 외부 트레일러가 일부 담당하던 역할을 스프린터캐리어가 하기 때문에 이런 운행지역의 분리가 가능하게 되었고, 사고 위험성이 낮아졌다. 그리고 이런 운행지역의 분리가 트래픽을 단순화하여 신속한 물류처리가 가능하게 되었다. 여기서 스프린터캐리어라 함은 스트래들캐리어 또는 셔틀캐리어로도 불리며, 안벽크레인과 야드크레인 사이에서 컨테이너를 이송하는 장비다. 기존 터미널에서 운용 중인 트레일러와의 차이는 스프린터캐리어는 컨테이너를 직접 들고, 내릴 수 있는 기능을 가지고 있는 것이다.

주식회사 비엔씨티에는 총 28대의 스프린터캐리어가 운용 중에 있으며, 터미널의 수익 창출을 위해 장비는 항상 최적의 상태를 유지해야 한다. 이를 위해 장비의 고장율을 줄이고, 가동율을 높이기 위해 노력해야 하며, 이는 결국 장비의 비가동 손실을 줄이는 것과 일치한다. 따라서 과거에 일어난 고장 데이터를 분석하여 원인을 분석하고, 대책을 논의할 수 있다.

우선 외부 환경의 변화에 따른 고장 빈도나 경향성 파악을 위해 계절별 고장 발생 패턴이 어떤지를 분석할 수 있을 것이다. 장비의 고장 빈도와 연관이 있을 것으로 예상되는 컨테이너 처리 물동량과의 관계를 통계적으로 분석할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 2011년에 납품되어 운용중인 20대에 적용된 보증수리기간 2년 동안의 고장데이터를 선별하여 분석을 수행하였다. 이는 보증수리기간 이후의 고장에 대해서는 장비의 초기고장이 발생하는 기간이 끝나고, 우발고장이 발생하는 안정화 기간으로 들어간 것으로 간주할 수 있기 때문이다 (박경수, 1994).

스프린터캐리어의 고장 요인을 통계적으로 분석하고, 분석 결과를 향후 장비의 판매금액에 무상 수리 보증기간 동안 고장으로 인한 예상 비용을 반영하고, 수입 부품의 국내 적정 재고량을 산출하는 기초데이터로 사용할 수 있을 것이다.

2. 본론

2.1 연구가설

본 연구에서 실시할 연구가설은 아래와 같다.

- 1) 고장 빈도는 계절(온도)과 관계없이 일정하다.
- 2) 고장 빈도는 컨테이너 처리 물동량과 정(+)의 관계에 있을 것이다.

2.2 연구가설 검정

1) 고장 빈도는 계절(온도)과 관계없이 일정하다.

H0: 고장 빈도는 계절(온도)과 관계없이 일정하다.

H1: 고장 빈도는 계절(온도)의 차이에 따른 유의미한 관계를 가진다.

우리나라의 사계절은 뚜렷한 기온의 차이를 보인다. 스프린터캐리어는 야외에서 운용되는 특성 상 온도의 영향을 많이 받는다. 부산지역의 최근 15년간 최저/최고 기온의 변화를 [표1]과 같이 확인하였다.

[표1] 부산지역의 최근 15년 간 최저기온과 최고기온 (단위: °C)

연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
최저기온	-7.1	-10.3	-6.2	-8.7	-10.5	-10.6	-9.6	-3.6	-6.1	-7.6
최고기온	33.1	34.5	33.4	31.0	34.1	32.8	34.5	32.6	31.4	32.5
연도	2010	2011	2012	2013	2014					
최저기온	-8.1	-12.8	-9.9	-10.7	-6.0					
최고기온	34.1	33.0	34.5	35.0	32.9					

[출처: 기상청]

[표1]을 보면, 한 여름의 대기기온은 +31도에서 +35도의 분포를 보이고, 겨울철 최저 대기온도는 -3.6도에서 -12.8도의 분포를 확인할 수 있다. 스프린터캐리어가 운용되는 컨테이너터미널의 하부는 아스팔트로 되어 있는데, 아스팔트 표면의 온도는 열전달 및 복사 등 복잡한 관계식에 의해 여름철은 약 +55도로 올라가고, 겨울철은 약 -10도까지 내려가는 특성을 알 수 있다 (김진웅, 2006).

이런 극한의 조건에서도 장비의 정상운용을 위해 스프린터캐리어는 가동온도를 -20도~+50도로 설계되었으며, 아스팔트 지표면에 접촉하는 타이어를 제외하면, 온도의 변화에 의해 고장빈도가 크게 달라지지 않아야 한다 (Terex 제조사 매뉴얼).

아래 [표2]에서 볼 수 있듯이 최고기온을 기록한 달은 7월, 8월, 9월인데, 통상적인 여름 계절에 대한 인식이 6월, 7월, 8월인 것을 감안하여 여름을 6월, 7월, 8월로 결정한 다. 최저기온을 기록한 달은 12월, 1월, 2월, 3월인데, 3월은 1회성 기록이고, 또한 겨울에 대한 인식이 12월, 1월, 2월 임을 감안하여 본 연구에서는 12월, 1월, 2월로 겨울을 결정하고, 3월은 봄으로 데이터를 분석한다.

[표2] 최근 15년간 최고/최저기온을 기록한 달(월)의 횟수

구 분	최고기온	구 분	최저기온
7월	3회	12월	4회
8월	11회	1월	7회
9월	1회	2월	3회
-	-	3월	1회

아래 [표3]은 2011년 7월부터 2013년 7월까지 월별 고장 발생 건수에 관한 분석이다.

[표3] 2011.7~2013.7 동안의 월별/계절별 고장횟수

구분(계절)	겨울		봄			여름			가을			겨울	합계
구분(월)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
고장횟수(건)	13	6	20	18	15	20	24	10	22	14	20	20	202

스프린터캐리어는 계절에 따른 온도변화에 관계없이 정상 작동하여야 하며, 계절별로 고장횟수의 차이 유무를 분석하기 위해 통계분석을 실시하였다.

[표4] 계절별 고장 통계 분석 결과_기술통계

계절별고장횟수		N	평균	표준편차	표준오차	평균에 대한 95% 신뢰구간		최소값	최대값
						하한값	상한값		
1		20	2.65	1.899	.425	1.76	3.54	0	7
2		20	2.70	1.809	.405	1.85	3.55	0	6
3		20	2.80	1.609	.360	2.05	3.55	0	5
4		20	1.95	1.234	.276	1.37	2.53	0	4
합계		80	2.53	1.661	.186	2.16	2.89	0	7

[표5] 계절적 고장 통계 분석 결과_분산의 동질성 검정

계절별고장횟수		분산의 동질성 검정		
Levene 통계량	df1	df2	유의확률	
2.641	3	76	.055	

[표6] 계절적 고장 통계 분석 결과_일원배치 분산분석

계절별고장횟수		일원배치 분산분석			
	제곱합	df	평균 제곱	F	유의확률
집단-간	9.050	3	3.017	1.097	.355
집단-내	208.900	76	2.749		
합계	217.950	79			

[표4]의 기술통계에서 통계 분석 시 코딩을 (봄=1, 여름=2, 가을=3, 겨울=4)로 했으며, 각 장비 당 고장 횟수를 계절별로 정리하였다. 계절별 평균 고장횟수를 보면, 봄, 여름, 가을은 2.65건~2.80건으로 큰 차이가 없으나, 겨울은 1.95건으로 나머지 3개의 계절과 비교하여 상대적으로 낮음을 확인할 수 있다.

[표5]의 분산의 동질성 검정에서 p-value가 0.055로 아주 적은 차이지만, 5%의 유의수준에서 귀무가설이 기각되어, 분산의 동질성에 차이가 없음을 알 수 있다.

[표6]의 분석결과를 보면, 계절별 평균 고장 횟수에서 다소 차이가 있어 보이나, 집단간 유의확률인 p-value가 0.355로 5%의 유의수준에서 귀무가설을 기각할 수 없으며, 이는 계절별로 고장빈도에 통계적으로 차이가 없음을 알 수 있다.

이는 봄과 가을에 비해 상대적으로 열악한 온도인 여름과 겨울에 통계적으로 고장이 더 발생하지 않는 것을 의미하며, 이를 볼 때, 장비는 설계 목표대로 잘 제작된 것임을 추정할 수 있다. 장비의 설계 목표는 우리나라 기온(최저, 최고온도)에서 장비가 정상적으로 동작해야 되는 것이기 때문이다.

2) 장비의 고장횟수는 월간 물동량의 변화에 따라 차이가 있을 것이다.

H0: 장비의 고장횟수는 월간 물동량의 변화에 관계없이 일정하다.

H1: 장비의 고장횟수는 월간 물동량의 변화에 따라 차이가 있다.

통상의 경우 장비의 가동 시간은 고장의 횟수에 비례하여 나타난다. 그렇다면, 주식회사 비엔씨티(BNCT)의 물동량 변화가 월별 고장 빈도와 어떤 관계가 있는 것이 아는지 확인해 볼 필요가 있다. 이를 위해 장비가 가동되기 시작한 2011년 7월부터 2013년 7월까지의 월별 컨테이너 처리량을 조사하였다.

아래 [표7]에서 주식회사 비엔씨티의 본격적인 가동이 2011년 12월부터 시작된 것을 알 수 있으며, 월별 고장횟수와 컨테이너 처리 물동량을 확인할 수 있다.

[표7] 주식회사 비엔씨티(BNCT) 연/월별 물동량(TEU)변화와 장비 고장횟수(건)

연	월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2011	물동량							0	0	0	0	0	21
	고장횟수							2	2	11	6	15	16
2012	물동량	362	3145	26109	33182	34151	37932	45177	49730	51432	54412	52544	71788
	고장횟수	9	3	5	9	7	6	17	8	11	8	5	4
2013	물동량	91863	79796	90259	85599	83438	85394	89291					
	고장횟수	4	3	15	9	8	14	5					

*출처: 부산항만공사

[표8] 연/월별 물동량 변화와 고장횟수 통계분석결과_기술통계량

기술통계량			
	평균	표준편차	N
월별고장횟수	8.08	4.518	25
월별물동량	42625.00	35069.547	25

[표9] 연/월별 물동량 변화와 고장횟수 통계분석결과_상관계수

상관계수			
		월별고장횟수	월별물동량
월별고장횟수	Pearson 상관계수	1	.015
	유의확률 (양쪽)		.944
	N	25	25
월별물동량	Pearson 상관계수	.015	1
	유의확률 (양쪽)	.944	
	N	25	25

[표9]를 보면, 월별고장횟수와 월별물동량의 상관계수가 0.015로 매우 낮음을 알 수 있고, p-value가 0.944로 유의하지 않음을 알 수 있다. 즉, 변수인 월별고장횟수와 월별물동량은 특별한 관계가 없음을 통계분석결과 확인할 수 있다.

[표7]을 보면, 2011년 7월~12월에는 컨테이너 처리 물동량이 거의 없음에도 불구하고, 고장이 발생한 것을 확인할 수 있다. 이는 스프린터캐리어라는 장비가 국내에 처음 도입되어, 운전자 교육 및 작업 시뮬레이션을 목적으로 장비를 가동했기 때문이다.

상기 이유로 물동량이 거의 없는 최초 8개월을 제외하고, 2012년 3월부터 2013년 7월까지의 물동량과 고장횟수로 상관분석을 실시하였다.

[표10] 연/월별 물동량 변화와 고장횟수 통계분석결과(최초8개월 제외)_기술통계량

기술통계량			
	평균	표준편차	N
월별고장횟수_물동량고려	8.12	4.076	17
월별물동량_고장횟수고려	62476.29	23148.047	17

[표11] 연/월별 물동량 변화와 고장횟수 통계분석결과(최초8개월 제외)_상관계수

상관계수			
		월별고장횟수_물동량고려	월별물동량_고장횟수고려
월별고장횟수_물동량고려	Pearson 상관계수	1	.021
	유의확률 (양쪽)		.937
	N	17	17
월별물동량_고장횟수고려	Pearson 상관계수	.021	1
	유의확률 (양쪽)	.937	
	N	17	17

[표11]을 보면, 월별고장횟수와 월별물동량의 상관계수가 0.021로 [표9]의 상관계수인 0.015와 비교했을 때, 소폭 상승했음을 알 수 있으나, 여전히 낮음을 알 수 있고, p-value가 0.937로 두 변수의 상관관계는 거의 없는 즉, 유의하지 않음을 통계분석 결과 알 수 있다.

이는 연구의 대상이 되는 본 터미널이 2011년 11월부터 개장을 시작하여, 계속 컨테이너 처리 물동량이 증가하는 상황임을 감안해야 된다. 이는 컨테이너 터미널과 스프린터캐리어의 전체 물동량 처리 능력 대비 상당히 낮은 물동량 수준이며, 이런 낮은 수준의 물동량 증가가 장비의 고장에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않는 이유라고 추정된다.

3. 결론

부산 신항만은 21세기를 대비하여 동북아 중심항만으로 개발되고 있으며, 2020년에 완료될 계획이다. 이런 신항만은 그 위상에 걸맞게 항만의 설계 및 시공, 운영에서 좀 더 효율적이고, 안전한 항만을 추구되어야 한다.

본 연구는 아시아 최초의 수직배열 터미널인 주식회사 비엔씨티에 적용된 스프린터캐리어의 보증기간 동안 고장분석을 다양한 연구가설의 설정으로 수행하였다.

첫 번째 가설인 ‘고장 빈도는 계절(온도)과 관계없이 일정하다.’의 검정을 위해 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 그 결과, 계절에 따른 고장빈도는 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다. 사실 온도의 변화는 수많은 기계적, 전기적 부품으로 구성된 스프린터캐리어의 고장에 영향을 줄 수 있는 요소이다. 하지만, 이런 온도 변화에도 불구하고 정상적으로 장비가 동작되어야 하므로, 설계 시에 온도 변화에 대한 특성을 충분히 반영하게 되어 있고, 이런 분석을 통해 장비 설계에 이은 제작에서도 온도 특성이 잘 반영되어 있는 것을 확인할 수 있다.

두 번째 가설인 ‘고장 빈도는 컨테이너 처리 물동량과 정(+)의 관계에 있을 것이다.’의 검정을 위해 상관관계 분석을 하였다. 그 결과, 월별 고장빈도와 월별 물동량은 통계적으로 유의한 관계가 없음을 확인하였다. 본 연구의 대상 터미널은 2011년 11월에 개장되어 물동량이 계속 증가하고 있는 추세라는 특이점이 있어 물동량에 따른 고장 빈도를 터미널의 정상 운영 단계에서 분석하지 못한 한계점이 있다. 본 터미널은 연구대상기간에 최대 월간 15만 TEU정도를 처리할 수 있는데, 최대 9만 TEU정도를 처리하고 있었기 때문이다. 그래서 컨테이너 처리 물량은 계속 증가하고 있었으나, 그 물량은 터미널과 스프린터캐리어의 월간 처리 능력에 비해 절반을 조금 웃도는 수준이었기 때문이다.

참고 문헌

- 기상청 홈페이지 “<http://www.kma.go.kr/index.jsp>” 부산지역의 최저/최고기온(과거 15년)
- 김진웅(2006), “현장 계측자료를 이용한 아스팔트 포장체 내부온도 추정식의 비교연구”, 연세대학교
- 박경수, 신뢰성 개론, 영지문화사, 1994
- 박춘화(2008), “부산 신항2-3단계 자동화 컨테이너터미널 도입계획 분석을 통한 항만 경쟁력 향상 방안”, 한국해양대학교
- 부산항만공사 홈페이지 “www.busanpa.com”
- 윤원영 외(2009), “컨테이너 크레인의 예방정비 일정에 관한 연구”, 한국항해항만학회지
- 정병철(2005), “건설기계의 경제적인 운용을 위한 수명 주기 비용에 관한 연구”, 창원대학교
- 주식회사 비엔씨티 홈페이지 “www.bnctkorea.com”
- TEREX 제조사 매뉴얼