

민감도 분석을 통한 정비부서의 운영 전략 연구

유성환

연세대학교 컴퓨터과학과
(vision82@gmail.com)

김성문(교신저자)

연세대학교 경영대학 조교수
(kimsm@yonsei.ac.kr)

본 논문에서는 캔음료 자판기를 수리하고 점검하는 정비부서가 인건비를 최소화하기 위하여 효율적으로 인력을 계획하고 운영하는 수리계획모형을 제시한다. 그리고 실제 정비부서의 운영을 통해 얻은 데이터를 적용하여, 제시된 수리계획모형을 통한 실용성을 분석한다. 특별히 본 논문에서 가장 중점을 두고 분석하는 것은 수리계획모형의 여러 매개변수의 변화에 따라 인건비와 운영 전략이 어떻게 달라지는가 하는 것이다. 첫째, 경수리 부분에 비해 중수리 부분의 고장율이 증가함에 따라 인건비와 최적 점검율이 훨씬 더 민감하게 증가하는 관계를 보였다. 둘째, 인턴직원의 근무효율은 인건비 및 최적 점검율과 반비례 관계를 나타내었다. 셋째, 경수리 부분에 비해 중수리 부분에서의 점검율이 최적의 수치를 넘어갈수록 가파르게 인건비가 증가함을 발견하였다. 마지막으로, 경수리 부분은 점검시간 대비 수리시간의 비율이 높을수록 미리 점검율을 증가시켜 고장을 예방하는 것이 좋은 운영 전략으로 나타났고, 중수리 부분은 이에 거의 영향을 받지 않는 것으로 분석 결과 나타났다.

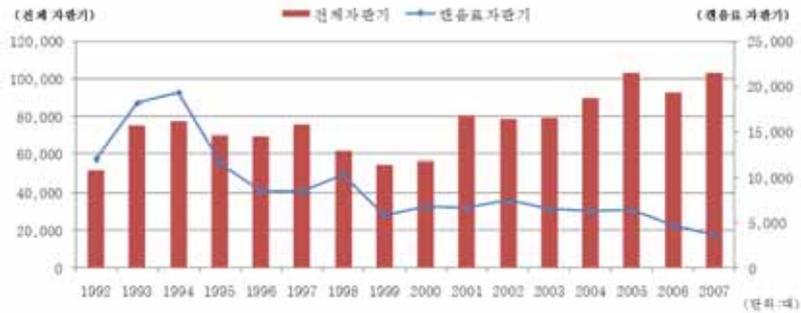
주제어: 캔음료 자판기, 정비부서 운영, 인력 계획

1. 서론

국내 자판기 산업은 롯데산업이 1977년에 일본 SHARP 사로부터 커피 자판기 400대를 도입하여 설치한 것을 시작으로 지속적으로 성장하여 왔다(서울시 자동판매기 협동조합, 1998). 그리고, 2007년도에 집계된 신규 자판기 설치 대수는 103,868대이며, 누계 자판기 시장 규모는 1,398,383대에 달한다(한국 자동판매기 공업협회, 2007). 이 중 캔음료수를 판매하는 자판기 산업은 초기에 자판기 시장의 성장을 이끌었으며, 90년대 중반부터는 대형 할인 마켓의 등장으로 인한 유통 경로 변화 및 소비자 성향 변화로 인해 성장세가 둔화되었다.

〈그림 1〉에서와 같이 1999년 이후에는 캔음료 자판기의 신규 설치가 연간 약 7,000대에서 큰 변화가 없다가 최근에 약간씩 감소했으며, 현재 전국적으로 설치 운영되는 캔음료 자판기 약 18만대 중에서, 본 논문의 사례에서 다루는 A사의 경우 약 20%의 시장점유율을 차지하고 있다.

캔음료 자판기는 대체로 이를 임대하는 회사가 기기를 설치 한 후 캔음료를 공급하며, 설치된 장소의 기업 또는 기관과 함께 수익을 배분하는 경우가 일반적이다. 자판기 사업을 하는 모든 회사들은 수익을 극대화하기 위해서 자판기를 고장 없이 상시 운영하려 하며, 이를 위해 자판기의 정기적인 점검을 통해 고장을 미리 예방하고, 일단 고장 신고가 접수되면 신속하게 정비 인력을 파견하여 고



〈그림 1〉 국내 자판기 연도별 내수 신규 판매

장을 수리하는 등 자판기의 효과적인 관리를 위하여 별도의 정비부서를 두고 있다.

켄음료 자판기는 다른 종류의 자판기와 상이한 기계적 구조 및 정비 업무의 특성을 가지기 때문에 보통 두 개의 팀으로 정비부서를 나누어 운영한다. 첫 번째인 경수리팀은 동전투입구와 캔을 내보내는 기계 및 전자 부분 등 비교적 쉽고 간단한 경수리 부분의 수리와 점검을 담당하며, 두 번째 중수리팀은 상대적으로 고치기 힘들고 복잡한 냉각기와 관련된 중수리 부분의 수리와 점검을 담당한다. A사 정비부서의 전년도 통계 자료에 의하면 전체 고장량 중에서 대부분인 95% 정도가 경수리 부분에서 발생했으며, 이를 수리하기 위해 경수리팀은 비교적 간단한 장비를 갖고 다닌다. 반면, 중수리팀은 냉각기 정비와 관련하여 컴프레서 등의 부피가 큰 고가의 장비를 사용하기 때문에 경수리팀과 중수리팀을 하나로 합쳐서 모든 직원들에게 두 종류의 장비를 주고 수리 작업을 교육시키기 보다는, 두 팀을 개별적으로 분리하여 운영하는 것이 효율적이며, 이러한 방식은 켄음료 자판기 정비 업계에 있어 일반적이다. 본 논문에서는 다른 종류의 자판기 정비에 비해 가장 복잡한 운영 방식을 가지는 켄음료 정비부서의 운영에 초점을 맞춘다. 정비부서의 구

조와 주요 담당 업무를 간단히 도식화하면 〈그림 2〉와 같고, 각 작업 활동에 대한 설명은 다음과 같다.



〈그림 2〉 정비부서의 구조와 주요 담당 업무

일반적으로 고장 신고가 접수될 때 켄음료 자판기의 어떤 부분에서 문제가 발생했는지 알지 못하지만, 주로 경수리 부분에서 고장이 발생하기 때문에 경수리팀이 일단 파견되어 수리를 시도한다. 하지만, 경수리 부분이 아니라 냉각기와 관련된 중수리 부분이 고장 난 것으로 판명되면 경수리팀은 중수리팀에게 연락하여 수리를 요청하고 경수리 부분의 점검 작업을 마무리 하며, 출동한 중수리팀이 수리를 완료한다. 또한, 경수리팀과 중수리팀은 각각 요청된 수리가 모두 끝나고 남는 시간이 있으면 기존에 설치되어 운영 중인 자판기를 순차적으로 돌며 점검 작업을 통해 고장을 예방하려 한다. 이

때 특이한 사항은, 중수리팀은 점검 작업을 수행할 때 간단한 장비를 추가적으로 가지고 다니며 경수리팀이 하는 점검 작업도 동시에 진행하지만, 경수리팀이 중수리 부분을 점검하는 것은 불가능하다는 것이다. 이와 같이 경수리팀과 중수리팀 간에는 작업 능력과 처리할 수 있는 작업의 범위에 따라 수직적 상하관계(hierarchy)가 존재하는데, 이것은 캔음료 자판기 정비부서만의 특징이다.

자판기 정비부서는 임대중인 자판기를 관리하기 위해 각 팀당 몇 명의 직원을 충원할 것인지, 그리고 각 직원을 수리 및 점검 작업에 어떻게 배치할 것인지 등에 관한 운영 전략을 수립해야 한다. 이렇게 자판기 정비 인력을 계획하는 방법에는 몇 가지가 있을 수 있는데, 그 중 인건비를 줄이기 위해 단순하게 생각할 수 있는 한 가지 방법은 점검은 거의 하지 않고 신고 된 고장만을 간신히 수리할 정도로 정비 인력을 고용하여 운영하는 방식이다. 이러한 극단적인 전략은 점검과 수리에 걸리는 시간이 별 차이가 없는 경우에 고려할 수 있으며, 또는 점검을 하여도 향후의 고장 예방에 미치는 효과가 거의 없는 경우에 효과적으로 쓸 수 있는 전략이다.

그러나 자판기의 종류와 특성에 따라 정도의 차이를 고려한다 하여도, 일반적으로 고장 난 자판기를 수리하는데 걸리는 시간은 점검에 걸리는 시간 보다 상대적으로 긴 경우가 대부분이다. 이러한 점검 작업은 고장이 나기 전에 미리 예방 차원에서 실시하는 것이기 때문에, 현재 점검을 받은 자판기는 그렇지 않은 것에 비해 향후 고장이 일어날 가능성이 상대적으로 낮아진다. 따라서 점검량을 증가시키면 향후 발생할 고장량을 감소시킬 수 있어 수리에 필요한 직원수가 줄어들게 되고, 결국 인건비가 감소할 수 있다. 또한, 낮아진 고장율 덕분에 고객만족

도 및 매출을 증가시킬 수도 있을 것이다. 이러한 관점에서 볼 때 자판기 정비 인력을 배치하는 또 다른 극단적인 전략은 향후 발생할 고장량을 최저 수준으로 낮추기 위해 점검량을 극대화하여 운영하는 방식이다. 이러한 전략은 수리에 비해 점검 시간이 상당히 짧고, 점검을 통해 고장을 예방하는 효과가 매우 높은 경우에 효과적인 방법이다.

하지만, 많은 경우에 현실에서는 위의 두 가지 극단적인 전략을 적절히 혼합하여 사용함으로써 최적의 인력 배치와 효율적인 운영을 할 수 있다. 그러나 최적의 점검 수준과 이를 위한 인력 배치는 직관이나 경험에 의해 찾아내는 것이 거의 불가능하고, 실제 자판기를 운영하며 얻은 데이터를 이용한 과학적 분석을 필요로 한다. 하지만, 본 논문의 사례 분석 대상인 A사 정비부서의 예를 들면, 지금까지 관리자의 직관과 경험에 의존해서 경수리 부분과 중수리 부분의 직원 수를 결정하고, 내부적으로 정해놓은 특정 수준의 연간 목표 점검율을 달성하기 위해 각 팀의 직원들을 그때그때 업무에 배치해 왔지만, 왜 이렇게 운영을 해 왔는지에 대한 분석이나 합리적인 근거는 없었다.

최적 점검율을 얻기 위해서는 점검량과 수리량에 관한 다양한 트레이드오프 효과도 고려하여야 한다. 예를 들어, 주어진 고장량에 대해 총 인원을 증가시키게 되면 인건비는 증가하지만 일인당 담당하게 되는 수리량은 줄어들고, 대신 수행할 수 있는 점검량은 늘어날 것이며, 이는 향후 고장량 감소에 영향을 미치게 된다. 반대로 총 인원을 줄이게 되면 인건비는 감소하지만 일인당 맡아야 할 수리량이 늘게 되고, 그 결과 점검에 사용할 수 있는 시간이 줄어들어 향후 고장량이 증가하게 된다. 따라서 고장량에 대해서는 신속하게 모두 수리를 이행하지만, 적정 수준의 점검율을 유지함으로써 향

후 고장량을 효과적으로 통제하며, 동시에 총 인건비를 최소화 할 필요가 있다. 본 논문에서는 자판기 정비부서의 운영 방식에 최적화 기법을 도입하여 서비스 수준과 인건비를 관리하는 수학적 모형을 제시한다. 이것을 이용하여 인건비를 최소화하는 각 팀별 직원 수를 결정하고 이들에게 효과적으로 수리 및 점검 작업을 할당하여 최적의 인력 계획과 운영에 관한 전략을 수립하는 것이 본 연구의 목표이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지금까지의 관련 연구에 대한 문헌 조사를 하고, 기존 연구들과 본 연구의 차이점을 설명한다. 3장에서는 정비부서의 인건비를 최소화하기 위하여 직원 수를 어떻게 결정해야 하는지, 그리고 각 직원에게 수리 및 점검 작업을 어떻게 할당해야 하는가를 제시하는 수리계획모형을 세운다. 4장에서는 A사의 실제 운영 데이터를 적용한 사례를 통하여 최적화 기법의 효용성과 제시된 수리계획모형의 실용성을 보인다. 본 논문의 가장 중요한 부분인 5장에서는 자판기의 고장율, 정직원 대비 인턴직원의 근무 효율, 연간 점검율, 점검시간 대비 수리시간의 비율과 같은 매개변수의 값이 다양하게 변화하는 상황 하에서 정비부서의 인력 계획과 운영 전략이 어떻게 바뀌는지를 민감도분석을 통해 알아본다. 마지막으로 6장에서 본 연구의 결론과 향후 연구 방향을 제시하고 논문을 마무리 한다.

II. 문헌연구

선형계획법을 이용하여 인력 계획 문제를 해결한 최초의 연구는 1954년에 있었던 Edie와 Dantzig

의 논의에서부터 시작된다. 당시 Edie(1954)는 각 시간대 별로 상이한 분포를 가지는 차량의 교통량에 맞추어 톨프라자(toll plaza)에 설치할 각 차선의 톨게이트 수를 계산하고, 이를 통해 고용할 요금 징수원 수의 최적값을 확률 이론을 이용하여 구하고자 하였다. 이에 대해 Dantzig(1954)는 그의 서한을 통해 선형계획법을 이용하여 최적의 요금 징수원 수를 계산하는 방법을 제시하였다. 이후로 인력 계획 문제는 치열하게 서로 경쟁하며 생존하고 있는 기업 간의 환경 속에서, 조직의 비용을 절감하고 서비스의 수준을 높이기 위한 중요한 연구 분야가 되어 왔다.

컴퓨터의 발달로 수치해석 관련 최적화 분야가 지속적으로 발전하면서, 인력 계획 문제는 다양한 문제의 유형으로 범위를 넓혀가며 발전해 왔다. 직원의 스케줄링(Mingozzi et al., 2000), 인력 총원(Lee and Vairaktarakis, 1997), 근무 교대 스케줄링(Aykin, 1996), 순환 스케줄링(Millar and Kiragu, 1998), 휴일 스케줄링(Beaumont, 1997), 업무 할당(Tharmmaphornphilas and Norman 2004) 등이 있다. 또한, 인력 계획 연구에서 해를 구하는 방법론에 여러 가지가 있지만, 그 중에서 가장 많이 쓰이는 기법은 수리계획법이다. 수리계획법에는 목적계획법(Ozkarahan and Bailey, 1988), 확률계획법(Abernathy et al., 1973), 동적계획법(Beasley and Cao, 1998) 등이 사용되었고, 그리고 네트워크 모형(Balakrishnan and Wong, 1990)도 사용되었다. 또한 메타휴리스틱 기법(Dowland and Thompson, 2000)도 사용되었으며, 이외에 대기행렬 이론(Ingolfsson et al., 2002), 시뮬레이션(Henderson et al., 1999), 그리고 인공지능(Teodorovic, 1998)을 들 수 있다.

인력 계획은 적용되는 업종에 따라 분류할 수도

있다. 일반적으로 각 기업과 조직이 처한 환경은 서로 다르기 때문에, 이러한 각 업계의 요구를 충족시켜 주는 특화된 인력 계획 방식이 개발되어 왔다. 이는 분석 도구에서도 마찬가지인데, 최적해를 찾아내는 상용 소프트웨어 프로그램들도 보통 각 특정 업계의 요구에 맞게 설계되기 때문에, Ernst et al.(2004)의 연구에 의하면 특정 업계를 위해 설계한 것을 그대로 다른 분야에 적용할 경우 원하는 결과를 도출하지 못하는 경우가 대부분이었다. 인력 계획이 적용되는 다양한 업계는 항공사(Gamache and Soumis, 1998), 버스(Chamberlain and Wren, 1992), 철도(Caprara et al., 1999), 콜센터(Atlason et al., 2004), 의료 서비스(Carter and Lapierre, 2001), 경찰과 같은 치안 및 응급 서비스(Taylor and Huxley, 1989), 우체국(Ritzman, 1976), 군대(Feiring, 1993), 도서관(Ashley, 1995), 톨게이트(Kim, 2009), 스포츠(Wright, 1991), 회계 감사(Dodin and Elimam, 1998), 숙박 및 여행 서비스(Loucks and Jacobs, 1991), 그리고 생산 시스템(Faaland and Schmitt, 1993) 등이 있다.

특히 본 논문과 관련하여, 생산 및 재고 관리 분야에서 정비와 관련된 문제를 다룬 몇몇 연구가 있었다. Boukas and Haurie(1990)는 생산 시스템의 가용성을 증가시키기 위해 통합된 생산 제어 및 정비 계획 모형을 제시하였고, 이를 통해 전체 비용을 감소시키고자 하였다. Das and Sarkar (1999)는 제품 수요, 재고 상태, 수리 및 정비 비용 등을 바탕으로 산출한 시스템의 상태와 장비 고장의 연속 확률 분포를 고려하여, 전체 생산 재고 시스템을 위한 정비 계획 모형을 제시하였다. 또한 신뢰성 이론을 바탕으로 한 정비 계획법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이와 관련된 연구에

는 Chelbi and Ait Kadi(2004)가 있다. 이후 Kenné et al.(2006)는 임의의 장비 고장으로 인한 매출 손실을 고려해서 장비의 수명에 기반을 둔 최적 생산 및 정비 계획법을 제시하였다.

하지만 위와 같은 많은 연구가 인력 계획 분야에서 이루어져 왔음에도 불구하고, 본 논문에서 다루는 자판기 분야와 관련된 정비 계획에 대해서는 진행된 연구가 없었다. 물론 지금까지 기존 논문에서 나온 인력 계획에 관한 일반적인 개념들은 넓은 의미에서 볼 때 본 연구에도 적용될 수 있지만, 1장에서 언급된 바와 같이 자판기 정비는 몇 가지 고유한 가정과 특성을 가지고 있기 때문에 기존의 다른 연구에서 사용된 모형과 결과를 그대로 적용할 수는 없다. 구체적으로, 자판기 정비부서의 인력 계획 및 운영에 대한 본 연구는 기존의 연구들과 다음과 같은 이유에서 차별화 된다. 첫째, 본 논문에서는 정비부서의 팀 간에 작업 능력과 처리할 수 있는 업무의 범위에 따라 수직적 상관관계(hierarchy)가 존재한다. 다음으로, 본 논문에서는 인력 총원 문제와 각 직원들의 업무 할당 문제를 하나의 수리계획모형 안에 통합하였다. 또한, 본 연구에서는 현재 수행된 점검량이 미래의 고장량에 영향을 미친다는 가정 하에 둘의 관계를 포함한 수학적 모형을 설계했으며, 이것이 궁극적으로 정비부서의 필요한 직원수에 영향을 주게 된다.

이와 같은 이유로 인해, 본 연구에서 다루는 자판기 산업에 대한 정비부서의 인력 계획 및 운영 문제에 기존의 문헌들에서 제시된 모형과 결과를 바로 적용할 수 없다. 다음 장에서는 자판기 정비부서를 위한 인력 계획 및 운영에 대한 새로운 수리계획모형을 제시한다.

III. 연구모형

이번 장에서는 자판기 정비부서의 경수리팀과 중수리팀 각각이 계획해야 할 정직원 및 인턴직원의 수와 각 직원들에게 할당할 일일 수리량과 점검량을 결정하여 총 인건비를 최소화하는 수리계획모형을 제시한다. 먼저 아래와 같이 전체적인 수리계획모형을 제시하고, 이후 구체적으로 의사결정변수, 목적함수식, 여러 제약조건식 등을 하나씩 설명하도록 한다.

$$\text{Minimize } Z = C_1X + C_2 \sum_{j=q_1}^{q_2} x_j + C_3\tilde{X} + C_4 \sum_{j=q_1}^{q_2} \tilde{x}_j \quad (1)$$

$$\text{subject to } b_{ij} = f_i(a_{ij}) \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$d_j \left(e_1 b_{1j} X + e_2 b_{2j} \sum_{k=j-m+1}^j x_k \right) = v_j \quad \forall j \quad (3)$$

$$d_j \left(e_3 b_{3j} \tilde{X} + e_4 b_{4j} \sum_{k=j-m+1}^j \tilde{x}_k \right) = \tilde{v}_j \quad \forall j \quad (4)$$

$$V_{j+1} = g(V_j, v_j, \tilde{V}_j, \tilde{v}_j) \quad \forall j \quad (5)$$

$$\tilde{V}_{j+1} = \tilde{g}(\tilde{V}_j, \tilde{v}_j) \quad \forall j \quad (6)$$

$$d_j \left(e_1 a_{1j} X + e_2 a_{2j} \sum_{k=j-m+1}^j x_k \right) \geq V_j \quad \forall j \quad (7)$$

$$d_j \left(e_3 a_{3j} \tilde{X} + e_4 a_{4j} \sum_{k=j-m+1}^j \tilde{x}_k \right) \geq \tilde{V}_j \quad \forall j \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{12} (v_j + \tilde{v}_j + \tilde{V}_j) \geq NR \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{12} \tilde{v}_j \geq N\tilde{R} \quad (10)$$

$$X, \tilde{X} \geq 0 \text{ (integer)}, x_j, \tilde{x}_j \geq 0 \text{ (integer) for } q_1 \leq j \leq q_2, a_{ij}, b_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (11)$$

3.1 의사결정변수

본 연구에서는 경수리팀과 중수리팀 모두 매년 초 1년 동안 연속적으로 고용 계약을 맺는 정직원과 계절적인 수요가 높은 기간 동안 한시적으로 고용하는 인턴직원을 모두 고려하여 인력을 계획한다. 경수리팀과 중수리팀의 정직원 수를 각각 X 와 \tilde{X} 라고 하자. 경수리팀과 중수리팀의 인턴직원을 채용하는 첫번째 달과 마지막 달을 q_1 과 q_2 라고 하고, 이들의 근무 계약 기간을 m 개월이라고 놓자. 그리고, j 월에 인턴으로 고용되어 근무를 시작하는 경수리팀과 중수리팀의 인턴직원수를 각각 x_j 와 \tilde{x}_j 라고 정의하자($q_1 \leq j \leq q_2$). 그러면, 우리가 고려하는 직원의 타입은 1)경수리팀 정직원(X), 2)경수리팀 인턴직원(x_j), 3)중수리팀 정직원(\tilde{X}), 4)중수리팀 인턴직원(\tilde{x}_j)과 같이 총 4가지로 요약된다.

또 다른 종류의 의사결정변수는 각 타입의 직원 1인당 할당할 일일 수리량과 점검량이다. i 타입 직원 1인당 j 월에 할당할 일일 수리량을 a_{ij} 로 놓자. 마찬가지로, i 타입 직원 1인당 j 월에 할당할 일일 점검량을 b_{ij} 로 정의한다.

3.2 목적함수식

i 타입 직원 1인당 연봉(단, 인턴직원의 경우 m 개월 동안 총 급여)을 C_i 라고 하자. 각 타입마다 직원의 총 수와 1인당 연봉 C_i 를 곱하고 모든 타입에 대하여 이를 더하면 정비부서의 총 인건비인 $Z = C_1X + C_2 \sum_{j=q_1}^{q_2} x_j + C_3\tilde{X} + C_4 \sum_{j=q_1}^{q_2} \tilde{x}_j$ 를 얻게 된다. 본 연구에서 추구하고자 하는 목표는 최적의 인력 계획 및 작업 할당을 통하여 인건비를 최소화하는 것이므로 수식 (1)과 같은 목적함수식을 얻게 된다.

3.3 제약조건식

3.3.1 일일 수리량 및 점검량의 관계

앞에서 정의된 의사결정변수인 i 타입 직원 1인당 j 월의 일일 수리량인 a_{ij} 와 점검량인 b_{ij} 는 일반적으로 반비례 관계의 특성을 보인다. 예를 들면, 각 직원이 하루에 일하는 총 근무시간은 매일 8시간과 같은 형태로 정해져 있기 때문에, a_{ij} 를 증가시키면 b_{ij} 가 감소하게 되고, 그 반대로 b_{ij} 를 증가시키면 a_{ij} 가 감소하게 된다. 이 때 a_{ij} 와 b_{ij} 의 관계는 수식 (2)와 같은 함수 $f_i(\cdot)$ 에 의해 결정되며, 각 직원 타입 i 마다 수리에 걸리는 시간과 점검에 걸리는 평균 시간이 다르기 때문에 일일 수리량 a_{ij} 와 점검량 b_{ij} 의 과거 데이터로부터 회귀분석 등의 방법을 사용하여 $f_i(\cdot)$ 를 구할 수 있다.

또한, 근무 시간 동안 직원들은 점검과 수리만을 수행하는 것이 아니고, 작업 간 휴식, 이동시의 교통상황 혹은 작업의 난이도와 같은 예측 불가능한 요소들이 존재하기 때문에 평균적인 수리, 점검, 이동시간보다 실제 소요 시간은 더 높아지거나 낮아질 수 있다. 따라서 각 직원 타입 i 마다 수리량과 점검량의 실제 과거 데이터를 바탕으로 직원들의 업무 방식과 처리 능력, 작업 패턴을 추론하는 것이 보다 합리적이며, 이를 위해 회귀분석 등의 방법을 통하여 수식 (2)에 있는 선형 또는 비선형인 함수 $f_i(\cdot)$ 를 도출할 수 있다.

3.3.2 월간 총 점검량

법정 공휴일 등을 제외한 j 월의 최대 근무일수를 d_j 라 하자. 각 직원들은 정비 작업 이외의 다른 스케줄과 개별 사정에 따른 출장, 병가, 휴가, 월차

등의 이유로 실제 정비 작업을 할 수 없는 날이 존재하고, 이를 고려하여 i 타입 직원이 j 월 동안 정비 작업에 임하는 평균 근무율을 e_{ij} 라 놓자. 예를 들어, $e_{17} = 0.95$ 라는 것은, 경수리팀의 정직원들은 7월달에 평균적으로 95%의 근무율을 보인다는 의미이다. j 월에 경수리팀의 정직원과 인턴직원들이 수행한 경수리 부분의 총 점검량을 v_j 라 정의하고, 중수리팀의 정직원과 인턴직원들이 수행한 중수리 부분의 총 점검량을 \tilde{v}_j 라 정의하면, 수식 (2)에서 나오는 b_{ij} 를 이용하여 수식 (3), (4)와 같은 관계를 얻게 된다.

3.3.3 월간 총 고장량

과거 또는 현재의 완료된 수리량 및 점검량이 향후 발생하게 될 고장량에 미치는 영향을 고려하여 보자. j 월에 경수리 부분 고장량을 V_j , 중수리 부분 고장량을 \tilde{V}_j 라 하자. 앞에서 간략하게 언급되었듯이 현재 점검을 받거나 고장 후 수리가 완료된 자판기는, 정도의 차이는 있겠지만 점검이나 수리를 받지 않은 것에 비해 향후 고장을 일으킬 확률이 낮아지게 된다. 본 연구에서는 이를 수학적으로 다룰 수 있도록 $j+1$ 월의 고장량은 바로 직전인 j 월에 수행된 점검 및 고장 수리에 의해 영향을 받는다고 가정하는데, 구체적으로 j 월에 수리가 완료되었거나 점검을 받은 경수리 부분이 $j+1$ 월에 또 고장이 날 가능성은 아주 낮아진다는 것이다.

이러한 가정 하에 수식 (5)에 대해 추가 설명을 하면 다음과 같다. 먼저 고장 신고를 접수할 때에는 어느 부분이 고장 났는지 알지 못하지만, 대부분의 고장은 경수리 부분에서 발생하기 때문에 일단 경수리팀이 파견되어 경수리 부분을 체크한 후 경수리 부분이 고장 났다면 이를 수리하고 (즉, V_j

가 V_{j+1} 에 영향을 미치게 되고), 만약 중수리 부분의 수리가 필요한 것으로 판명된다면 중수리팀에게 연락하여 수리를 요청한 후, 경수리팀은 경수리 부분의 점검 작업을 마무리 하게 된다 (즉, 중수리 부분이 고장날 때마다 실제적으로 경수리 부분이 점검을 받게 되므로, \tilde{V}_j 가 V_{j+1} 에 영향을 미치게 된다). 또한 중수리팀이 중수리 부분의 점검 작업을 할 때는 비교적 간단한 경수리 부분의 점검 작업도 동시에 수행한다 (즉, \tilde{v}_j 가 V_{j+1} 에 영향을 미치게 된다). 따라서 수식 (5)와 같이 V_{j+1} 은 $(V_j, v_j, \tilde{V}_j, \tilde{v}_j)$ 에 영향을 받게 된다. 반면, 경수리팀은 냉각기 등 중수리 관련 부분의 작업을 수행하지 않기 때문에, \tilde{V}_{j+1} 은 $(\tilde{V}_j, \tilde{v}_j)$ 에만 영향을 받게 되어 수식 (6)을 얻게 된다. 이와 같은 팀간의 수직적 상하관계가 존재하지 않는다면 수식 (5)에서 \tilde{V}_j 과 \tilde{v}_j 를 제외하면 된다. 여기서 함수 $g(\cdot)$ 와 $\tilde{g}(\cdot)$ 는 $j+1$ 월에 경수리 부분과 중수리 부분의 고장량과 바로 직전인 j 월에 수행된 점검량 및 수리량의 관계를 나타내는 함수이다.

3.3.4 월간 총 고장량 및 수리 가능량

수식 (5)와 (6)에서 구한 경수리 부분과 중수리 부분의 총 고장량 V_j 와 \tilde{V}_j 는 경수리팀과 중수리팀의 정직원 및 인턴직원들에 의해 모두 수리되어야 한다. 즉, j 월에 경수리 부분과 중수리 부분 각각에 대하여 직원들이 수리 가능한 총 양은 j 월에 발생하는 고장량보다 크거나 같아야 하므로, 수식 (2)에서 나오는 a_{ij} 를 이용하여 수식 (7), (8)과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

3.3.5 연간 최소 목표 점검율

경우에 따라서는 정비팀 내부적으로 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최소 목표 점검율을 규정할 수도 있다. 예를 들어, 본 연구에서 분석한 A사의 정비부서는 경수리 부분의 연간 목표 점검율을 100%로 설정하였는데, 그 의미는 자판기 경수리 부분의 연간 점검량이 관리하고 있는 총 자판기의 수만큼은 되어야 한다는 뜻이다. 현재 설치되어 운영되고 있는 총 자판기의 수를 N 이라고 하고, 목표로 하는 자판기의 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최소 목표 점검율을 R 과 \tilde{R} 라고 놓으면 수식 (9), (10)과 같은 관계를 얻을 수 있다.

경수리 팀과 중수리 팀의 일반적인 점검 활동을 통해 경수리 부분을 점검하는 것 이외에, 중수리 부분의 고장이 발생하였을 때에도 일단 먼저 출동한 경수리 팀에 의해 경수리 부분이 점검 되므로, 수식 (9)의 좌변과 같이 경수리 부분의 실제적 총 점검량을 얻을 수 있다. 이와 같은 팀간의 수직적 상하관계가 존재하지 않는다면 수식 (9)에서 \tilde{V}_j 과 \tilde{v}_j 를 제외하면 된다. 만약, 내부적으로 정해놓은 R 과 \tilde{R} 값이 별도로 없다면 수식 (9)와 (10)을 제약 조건식에서 제외하고 수리계획모형을 풀어서 최적해를 구한 후, 수식 (9)와 (10)을 등식으로 놓고 그 때 각 부분의 최적 점검율 R^* 과 \tilde{R}^* 를 얻어낼 수 있다.

본 연구에서는 지금까지 언급한 수리계획모형의 모든 제약조건식을 만족시키면서 목적함수식에서 최소 인건비인 Z^* 를 얻어내는 경수리팀과 중수리팀의 최적 정직원수 및 인턴직원수 $(X^*, x_j^*, \tilde{X}^*, \tilde{x}_j^*)$, 그리고 매월 각 타입의 직원 1인당 일일 할당할 최적 수리량 a_{ij}^* 와 점검량 b_{ij}^* 를 구하는 것을 목적으로 한다.

IV. 수치해석 - A사 정비부서의 사례

이번 장에서는 A사 정비부서에서 자판기를 운영하며 얻은 실제 데이터를 대상으로 본 연구에서 제시한 수리계획모형을 적용하여 최적의 인력 계획 및 업무 할당을 하게 될 경우 서비스 수준 및 인건비가 어떻게 변화하는지, 그리고 향후 운영 전략을 어떻게 수립해야 하는지를 비교 분석하고자 한다. 먼저, 전년도 A사 정비부서의 운영 현황은 다음과 같다.

A사의 정비부서는 연간 평균 $N=35,349$ 대의 자판기를 운영했으며, 매월 신규 자판기의 추가 설치와 노후한 자판기가 철수되기는 하지만 평균값으로부터 변동은 거의 없는 편이다. 지난 1년간 정비부서의 인력 배치 현황을 보면, 경수리팀은 계속적으로 $X=37$ 명의 정직원으로 운영되었고, 중수리팀의 경우에는 첫 5달 동안은 $Y=5$ 명의 정직원으로 운영했으나, 인력 충원의 필요에 의해 한 명의 정직원을 추가로 고용하여 후반 7개월 동안은 정직원을 $Y=6$ 명으로 해서 운영하였다. 한편, 경수리팀과 중수리팀 모두 인턴사원을 전혀 고용하지 않고 정직원만으로 운영하였으며, 이러한 운영 방식으로 A사 정비부서는 전년도에 인건비로 총 2,473,123 단위를 지출하였다 (A사의 요청으로 다소 민감할 수 있는 급여 문제를 고려하여 인건비에 대한 정확한 금액 대신 변환된 단위를 사용하며, 또한 회사명을 밝히지 않고 A사로 표시한다). 또한, 전년도 1년간 매월 최대 근무일수(d_j)와 경수리팀 및 중수리팀 정직원의 월별 평균 근무율(e_{1j}, e_{3j})의 데이터를 분석한 결과, 매월 발생하는 월차, 휴가, 출장 등으로 인해 근무율에 다소 변동이 있음을 알 수 있었다.

전년도에 A사 정비부서는 점검량을 조절함으로써 이에 영향을 받게 될 고장량을 예측하거나 이에 따라 인력을 계획하는 등의 전략을 전혀 사용하지 않았다. 정해진 각 부서의 인력 총원 하에서 선착순 방식에 의해 먼저 수리 요청이 들어온 순서에 따라 정비 인력을 파견하여 수리하고, 남은 시간이 있으면 보수를 받은 지 오래된 순서대로 방문하여 점검을 실시하는 방식으로 운영을 해 왔다. 이 때, 전체 접수된 고장 신고 중에서 경수리 부분의 고장이 차지하는 비율이 95%에 이를 정도로 대다수를 차지하고 중수리 부분의 고장은 상대적으로 적었다는 이유 때문에, A사 정비부서에서는 경수리 부분의 연간 최소 목표 점검율을 $R=100\%$ 로, 중수리 부분의 연간 최소 목표 점검율을 $\tilde{R}=10\%$ 로 설정하고 이를 달성하기 위하여 노력했다. 실제 전년도 데이터를 통하여 연간 점검율을 확인한 결과, 경수리 부분은 95.35%, 중수리 부분은 6.58%의 연간 점검율을 달성했으며, 실제 점검율이 목표치에서 크게 부족하지 않았다고 자평했다. 하지만 왜 이러한 목표 점검 수준이 설정 되었는지에 대한 합리적 근거 없이 A사 정비부서는 운영을 해 왔다.

4.1 정직원 및 인턴직원을 통한 최적화, 연간 최소 점검율 $R=100\%$, $\tilde{R}=10\%$ 기준 부과

지금까지 A사 정비부서는 경수리팀과 중수리팀 모두 정직원만을 고용하여 고장 신고가 접수되면 우선적으로 인력을 파견한 후 남은 시간이 있을 때 점검을 실시하는 수동적인 방식의 운영 정책을 실시해 왔다. 하지만, 최적화 기법을 통하여 능동적으로 매월 점검량을 변화시키고 계절적인 수요가 높은 여름에 한시적으로 인턴사원을 고용할 경우 서비스 수준은 어느 정도 증가할 것인지, 또 이로

인해 정직원의 수를 줄일 수 있다면 총 인건비가 얼마나 감소할 것인지에 관심을 가지게 되었다.

이에 A사 정비부서는 3월에서 8월까지 매월 인턴사원을 선발하는 것을 고려하였으며, 일단 선발된 인턴사원의 계약 기간은 3개월로 정하였다. 동종 업계의 데이터를 참고하고 인사팀 직원의 과거 경험으로 볼 때, 이들 인턴직원의 업무 능력은 정직원의 60% 정도에 해당할 것으로 예상되며, 월급은 동종의 타 기업 인턴직원 임금에 상응하도록 정직원의 60%로 책정하였다. 정직원의 경우 월차, 휴가 등으로 월별 근무일에 변동이 있지만, 새로 고용될 인턴직원의 경우 그러한 혜택이 전혀 없다. 하지만, 만약 발생할지 모르는 병가 등을 고려하여 경수리팀 및 중수리팀 인턴직원들의 경우 모두 평균 근무율(e_{2j}, e_{4j})을 보수적으로 95%로 가정하였다.

과거 자료로부터 경수리팀 및 중수리팀 정직원들이 하루 동안 수행한 점검량과 수리량을 분석한 결과, 수리량이 높게 요구되는 때에는 수리 작업에 바빠서 점검량이 줄어들게 되고, 그와 반대로 고장량이 적은 때에는 여유가 생겨 점검량이 늘어나는 관계를 보였다. 이러한 자료로부터 주어진 하루의 총 근무시간 내에서 고장에 대해 1인당 할당할 수리량 a_{1j} 와 수리 요구가 없을 때 수행하는 점검량 b_{1j} 의 관계를 회귀분석을 통해 실험한 결과, 수식 (12), (13)과 같이 선형으로 잘 표현할 수 있었다.

$$\text{정직원: } b_{1j} = -1.3333a_{1j} + 12.5513 \quad \forall j \quad (12)$$

중수리팀 정직원:

$$b_{3j} = -2.6364a_{3j} + 7.9099 \quad \forall j \quad (13)$$

그리고 경수리팀과 중수리팀에서 근무하는 인턴 직원의 경우, 이동시간과 예측되는 수리시간, 점검 시간의 업무 능력을 기반으로 하여 수식 (14), (15)

와 같은 관계를 도출해 내었다.

경수리팀 인턴직원:

$$b_{2j} = -1.4545a_{2j} + 10.2693 \quad \forall j \quad (14)$$

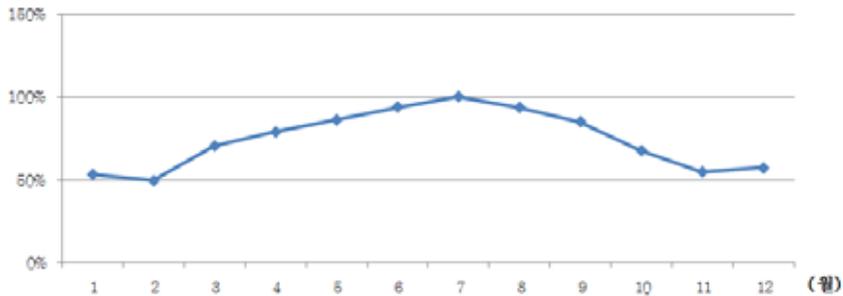
중수리팀 인턴직원:

$$b_{4j} = -3.0000a_{4j} + 5.8006 \quad \forall j \quad (15)$$

위 수식 (12)-(15)에서는 수리시간, 점검시간, 이동시간, 휴식 및 식사시간 등을 세부적으로 나타내는 대신, 3장에서 제시한 모형의 수식 (2)에서와 같이 보다 직관적으로 이해할 수 있도록 점검량에 대하여 나머지 항을 정리하였다. 예를 들어, 경수리팀 정직원의 경우 점검만 진행할 경우 하루 12.5513건이 가능하지만, 수리만 진행하는 경우 9.4137(=12.5513/1.3333)건이 가능하다. 각 수식에서 앞의 계수가 -1 보다 작은 값을 가지므로, 수리시간이 점검시간 보다 더 큰 것을 알 수 있다.

예측하고자 하는 고장량은 매월 변동성을 나타내는데, 이것은 자판기의 월간 사용량인 계절 지수와 밀접한 관계를 가진다. 따라서 최대의 사용량을 가진 달을 선택하여 다른 달의 사용량을 이를 기준으로 비율화시키면 <그림 3>과 같은 월간 계절지수를 구할 수 있다.

이전 장에서 간략하게 언급하였듯이 현재 점검을 받거나 고장 후 수리가 완료된 자판기는 점검이나 수리를 받지 않은 자판기에 비해 일반적으로 향후 고장이 일어날 가능성이 낮아진다. 실제로 A사 정비부서 직원들과의 인터뷰를 통해, 이번 달에 점검이나 수리를 통해 보수를 받은 자판기는 동일한 정도로 새롭게 되는 효과(renewal effect)에 의해 바로 다음 달에 또 고장이 날 가능성이 매우 낮지만, 1개월이 지나고 나면 이러한 보수의 효과가 거의 사라진다는 사실을 확인하였다. 이에 전년도



〈그림 3〉 자판기의 월별 계절지수

데이터를 분석한 결과, j 월에 점검 및 수리를 받은 자판기가 $j+1$ 월에 고장이 다시 발생하는 비율은 무시할 정도로 작았기 때문에, 본 연구에서는 $j+1$ 월에 고장이 나는 자판기는 바로 직전인 j 월에 점검 및 수리를 전혀 받지 않은 것들 중에서 일정 비율이 발생한다고 가정하고, 아래와 같이 수식 (16), (17)을 도출하였다.

$$V_{j+1} = \delta s_{j+1} (N - (V_j + v_j + \tilde{V}_j + \tilde{v}_j)) \quad \forall j \quad (16)$$

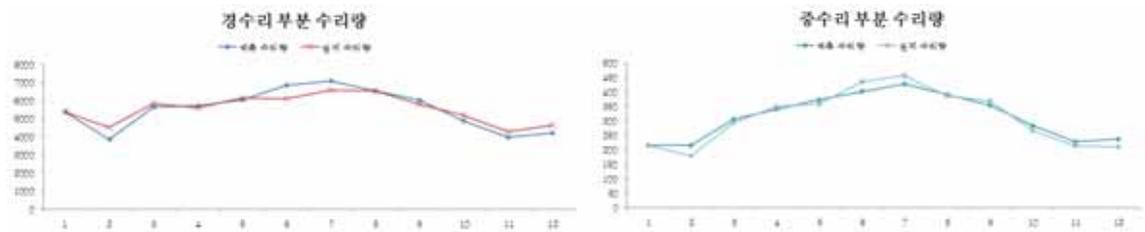
$$\tilde{V}_{j+1} = \tilde{\delta} s_{j+1} (N - (\tilde{V}_j + \tilde{v}_j)) \quad \forall j \quad (17)$$

수식 (16)과 (17)에서 δ 와 $\tilde{\delta}$ 는 자판기 사용량이 피크인 달을 기준으로 각각 이번 달에 점검을 받지 않은 경수리 부분 및 중수리 부분이 다음달에 고장이 나는 평균 비율을 의미하며, 전년도 1년간의

데이터를 분석한 결과 각각 $\delta = 0.2770$ 과 $\tilde{\delta} = 0.0122$ 를 얻을 수 있었다. 그렇다면, 수식 (16)에서는 j 월에 경수리 부분의 점검이나 수리를 받지 않은 자판기 중에서 27.7%가 $j+1$ 월에 경수리 부분에서 고장이 발생할 것으로 예상할 수 있으며, 이 수치에 자판기의 사용량으로부터 얻은 계절지수 s_{j+1} 를 곱하여 최종 고장량을 얻을 수 있다. 마찬가지로 수식 (17)도 해석할 수 있다.

이와 같은 방식으로 도출한 수식 (16)과 (17)에 전년도의 매월 점검량과 고장량 및 계절지수, 고장율 등의 데이터를 입력하여 얻어낸 예측 고장량과 실제의 고장량을 비교 하였고, 〈그림 4〉는 위 관계식을 사용한 경우 예측된 고장량이 실제 고장량을 근접하게 따라가는 것을 보여주고 있다.

지금까지 언급한 실제 데이터와 도출된 수식들을



〈그림 4〉 실제 고장량과 예측 고장량 비교

이용하여 3장에서 소개된 수리계획모형을 푼 결과는 다음과 같다. 먼저 <표 1>은 경수리팀과 중수리팀에서 고용할 정직원과 인턴직원의 수를 보여준다. 구체적으로, 경수리팀에서는 1년 단위로 계약할 정직원을 30명 고용하며, 4월에는 17명의 인턴직원을 3개월간 고용하고, 6월에는 26명의 인턴직원을 3개월간 고용하며, 8월에는 1명의 인턴직원을 3개월간 고용한다. 마찬가지로 중수리팀에서 고용하는 정직원 및 인턴직원의 수도 볼 수 있다. <표 1>과 같이 직원을 고용하게 되면 A사 정비부서의 연간 총 인건비가 2,295,060단위가 되어, 기존에 비해 약 7.20%정도 비용이 절감된다.

<표 2>는 경수리팀과 중수리팀의 정직원과 인턴직원에게 할당할 1인당 일일 수리량 및 점검량을 보여준다. 예를 들어, 8월에는 경수리팀의 정직원의 경우 일일 평균 $a_{18} = 9.4$ 건의 수리를 하지만 점검은 전혀 수행하지 않고 (즉, $b_{18} = 0$), 인턴직원의 경우 $a_{28} = 1.1$ 건의 수리와 $b_{28} = 8.7$ 건의 점검을 수행한다. <표 2>에서 얻은 최적해에서 관찰할 수 있는 특징은 인턴직원이 존재하는 4월에서 10월까

지 정직원들은 점검은 수행하지 않고 수리 작업만을 수행하며, 인턴직원의 경우 주로 점검을 수행하고 추가적으로 수리 작업에 참여하는 운영 방식이 최적이라는 사실이다. 이와 같은 현상은 A사 정비부서의 경우 점검에 비해 수리에 걸리는 시간이 상대적으로 더 길기 때문에 효율이 더 높은 정직원을 수리 작업에 우선적으로 배치시키는 것이 수리계획모형으로부터 얻게 되는 효과적인 전략임을 알 수 있으며, 이것은 우리의 직관적인 이해와 일맥상통한다.

경수리팀과 중수리팀의 정직원 및 인턴직원들에게 1인당 일일 수리량과 점검량을 <표 2>와 같이 할당하게 된다면, 월간 예상 고장량보다 월간 가능 수리량의 값이 약간씩 더 커서 수리 작업에 대해 여유(buffer)도 있으면서, 동시에 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 점검율은 현재의 95.7%, 7.4%보다 증가된 100%와 10%가 된다. 즉, 현재의 운영 방식에 비해 서비스 수준은 높아졌지만 인건비는 절감되는 향상된 결과를 가져온다. <표 3>과 <표 4>에서 경수리팀과 중수리팀의 정직원

<표 1> 경수리팀과 중수리팀의 최적 고용 직원수

	경수리팀		중수리팀	
정직원	X	30	\tilde{X}	5
인턴직원	x_3	-	\tilde{x}_3	2
	x_4	17	\tilde{x}_4	-
	x_5	-	\tilde{x}_5	2
	x_6	26	\tilde{x}_6	3
	x_7	-	\tilde{x}_7	-
	x_8	1	\tilde{x}_8	9
인건비	2,295,060			

및 인턴직원의 월간 점검량, 예상 고장량, 가능 수리량 등 구체적인 결과를 볼 수 있다.

4.2 정직원 및 인턴직원을 통한 최적화, 연간 최적 점검율에 따른 운영

지금까지는 A사의 정비부서에서 목표로 했던 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최소 점검율 100%와 10%를 만족시키면서, 정직원 외에 새로이 인턴직원을 고용하고 수리계획모형 상의 최적해에 따라 운영을 할 경우 총 비용이 얼마나 감소하고 서비스 수준이 어느 정도나 증가하는지에 대해서 분석하였다. 하지만, 앞서서도 언급하였듯이 A사의 정비부서에서 설정한 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최소 목표 점검율이 100%와 10%로 설정된

것에 대한 합리적인 근거는 없었으며, 다만 관행적으로 이 목표 수준을 달성하기 위해 노력해 왔다. 이에 A사 정비부서의 관리자는 과연 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 점검율이 어느 정도 수준일 때가 가장 적절할 것인지에 대해 관심을 가지게 되었다.

최적 점검율과 그에 따른 경수리팀과 중수리팀에 고용해야 할 정직원 및 인턴직원의 수, 그리고 1인당 일일 할당 수리량 및 점검량에 대한 최적해를 구하기 위해서는 3장에서 소개한 수리계획모형에서 수식 (9)과 (10)을 제외하면 된다. 이들을 제외하고 수리계획모형을 풀게 되면 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최적 점검율은 $R^* = 10.75\%$ 와 $\tilde{R}^* = 1.63\%$ 에 불과하여 현재 A사 정비부서가 설정한 최소 기준인 $R = 100\%$ 와 $\tilde{R} = 10\%$ 에 비해 현저

〈표 2〉 경수리팀과 중수리팀의 1인당 일일 할당 최적 수리량 및 점검량

j	경수리팀				중수리팀			
	수리		점검		수리		점검	
	정직원 a_{1j}	인턴직원 a_{2j}	정직원 b_{1j}	인턴직원 b_{2j}	정직원 a_{3j}	인턴직원 a_{4j}	정직원 b_{3j}	인턴직원 b_{4j}
1월	9.4	-	0.0	-	2.3	-	1.8	-
2월	7.9	-	2.0	-	2.9	-	0.3	-
3월	9.1	0.0	0.4	0.0	3.0	0.6	0.0	3.9
4월	9.4	1.3	0.0	8.3	3.0	1.9	0.0	0.0
5월	9.4	0.8	0.0	9.1	3.0	1.9	0.0	0.0
6월	9.4	0.9	0.0	8.9	3.0	1.4	0.0	1.5
7월	9.4	0.0	0.0	10.3	3.0	1.9	0.0	0.0
8월	9.4	1.1	0.0	8.7	3.0	0.6	0.0	4.1
9월	9.4	7.1	0.0	0.0	3.0	0.5	0.0	4.3
10월	9.4	7.1	0.0	0.0	3.0	0.1	0.0	5.6
11월	8.7	-	1.0	-	3.0	-	0.0	-
12월	9.1	-	0.4	-	2.9	-	0.3	-

〈표 3〉 경수리팀 정직원 및 인턴직원의 월간 점검량, 가능 수리량, 예상 고장량

	X 의 점검량	x_3 의 점검량	x_4 의 점검량	x_5 의 점검량	x_6 의 점검량	x_7 의 점검량	x_8 의 점검량	월간 점검량 U_j	X 의 수리량	x_3 의 수리량	x_4 의 수리량	x_5 의 수리량	x_6 의 수리량	x_7 의 수리량	x_8 의 수리량	월간 가능 수리량	월간 예상 고장량 \tilde{V}_j
1월	0	-	-	-	-	-	-	0	5,490	-	-	-	-	-	-	5,490	5,379
2월	1,067	-	-	-	-	-	-	1,067	4,140	-	-	-	-	-	-	4,140	4,055
3월	287	0	-	-	-	-	-	287	5,977	0	-	-	-	-	-	5,977	5,853
4월	0	0	3,302	-	-	-	-	3,302	5,885	0	536	-	-	-	-	6,421	6,271
5월	0	0	3,594	0	-	-	-	3,594	5,888	0	313	0	-	-	-	6,201	6,063
6월	0	-	3,438	0	5,258	-	-	8,696	5,796	-	373	0	570	-	-	6,739	6,580
7월	0	-	-	0	5,946	0	-	5,946	5,593	-	-	0	0	0	-	5,593	5,403
8월	0	-	-	-	5,421	0	209	5,630	5,589	-	-	-	670	0	26	6,285	6,100
9월	0	-	-	-	-	0	0	0	5,384	-	-	-	-	0	155	5,539	5,188
10월	0	-	-	-	-	-	0	0	5,501	-	-	-	-	-	169	5,670	5,425
11월	514	-	-	-	-	-	-	514	4,413	-	-	-	-	-	-	4,413	4,319
12월	192	-	-	-	-	-	-	192	4,890	-	-	-	-	-	-	4,890	4,791

〈표 4〉 중수리팀 정직원 및 인턴직원의 월간 점검량, 가능 수리량, 예상 고장량

	\tilde{X} 의 점검량	\tilde{x}_3 의 점검량	\tilde{x}_4 의 점검량	\tilde{x}_5 의 점검량	\tilde{x}_6 의 점검량	\tilde{x}_7 의 점검량	\tilde{x}_8 의 점검량	월간 점검량 \tilde{U}_j	\tilde{X} 의 수리량	\tilde{x}_3 의 수리량	\tilde{x}_4 의 수리량	\tilde{x}_5 의 수리량	\tilde{x}_6 의 수리량	\tilde{x}_7 의 수리량	\tilde{x}_8 의 수리량	월간 가능 수리량	월간 예상 고장량 \tilde{V}_j
1월	181	-	-	-	-	-	-	181	239	-	-	-	-	-	-	239	216
2월	22	-	-	-	-	-	-	22	234	-	-	-	-	-	-	234	212
3월	0	192	-	-	-	-	-	192	316	30	-	-	-	-	-	347	303
4월	0	0	0	-	-	-	-	0	318	90	0	-	-	-	-	409	337
5월	0	0	0	0	-	-	-	0	289	90	0	90	-	-	-	468	369
6월	0	-	0	67	100	-	-	167	324	-	0	66	99	-	-	488	402
7월	0	-	-	0	0	0	-	0	314	-	-	86	129	0	-	529	426
8월	0	-	-	-	298	0	894	1,192	284	-	-	-	40	0	119	442	400
9월	0	-	-	-	-	0	852	852	283	-	-	-	-	0	98	381	351
10월	0	-	-	-	-	-	1,217	1,217	300	-	-	-	-	-	12	311	283
11월	0	-	-	-	-	-	-	0	251	-	-	-	-	-	-	251	227
12월	34	-	-	-	-	-	-	34	271	-	-	-	-	-	-	271	246

히 낮으며, 연간 최적 점검율에 맞게 운영을 할 경우 총 인건비는 2,151,060단위로 감소하게 된다.

〈표 5〉는 정직원과 인턴직원을 고용하고, 연간 최소 목표 점검율에 관한 제약조건식을 포함하고 수리계획모형을 푼 경우와 이를 제외하고 얻어낸 연간 최적 점검율에 따라 운영하였을 경우, 현재의 운영 방식과 비교하여 각각 얼마나 인건비가 감소하는지를 나타내고 있다. 연간 최적 점검율에 따라 정비부서의 인력을 계획하고 운영할 경우에는 현재의 운영 방식에 비해 약 13.02%의 총 인건비를 절감할 수 있으며, 인턴직원을 고용하여 경수리 부분과 중수리 부분에 100%와 10%의 연간 최소 점

검율을 설정한 운영 방식과 비교해서도 약 5.82%의 비용을 추가로 절감할 수 있다. 따라서, 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최소 목표 점검율을 100%와 10%로 설정한 현재의 운영 방식은 연간 최적 점검율의 수준을 훨씬 넘어 필요 이상의 점검을 수행하는 셈이다.

〈표 6〉과 〈표 7〉은 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 점검율을 최적의 수준인 $R^*=10.75\%$ 와 $\tilde{R}^*=1.63\%$ 로 가져갈 경우 경수리팀과 중수리팀에서 고용할 정직원 및 인턴직원의 수, 그리고 1인당 일일 할당할 수리량과 점검량을 보여준다. 현재의 운영 방식에 비해 연간 최적 점검율이 현저하게 낮

〈표 5〉 인력 고용과 연간 점검율의 변화에 따른 인건비 비교

	인건비	비용 절감 (%)
정직원만 고용 경수리 95.35%, 중수리 6.58% 점검 (현재 운영 방식)	2,473,123	
정직원과 인턴직원 고용 경수리 100%, 중수리 10% 점검	2,295,060	7.20%
정직원과 인턴직원 고용 경수리 10.75%, 중수리 1.63% 점검 (최적 점검율)	2,151,060	13.02%

〈표 6〉 경수리팀과 중수리팀의 최적 고용 직원수

정직원	경수리팀		중수리팀	
	X	30	\tilde{X}	5
인턴직원	x_3	-	\tilde{x}_3	1
	x_4	4	\tilde{x}_4	1
	x_5	6	\tilde{x}_5	1
	x_6	1	\tilde{x}_6	1
	x_7	9	\tilde{x}_7	2
	x_8	-	\tilde{x}_8	2
인건비	2,151,060			

〈표 7〉 경수리팀과 중수리팀의 1인당 최적 일일 할당 수리량 및 점검량

j	경수리팀				중수리팀			
	수리		점검		수리		점검	
	정직원 a_{1j}	인턴직원 a_{2j}	정직원 b_{1j}	인턴직원 b_{2j}	정직원 a_{3j}	인턴직원 a_{4j}	정직원 b_{3j}	인턴직원 b_{4j}
1월	9.4	-	0.0	-	2.3	-	2.0	-
2월	7.8	-	2.0	-	2.8	-	0.5	-
3월	9.1	0.0	0.4	0.0	3.0	1.9	0.0	0.0
4월	9.4	7.1	0.0	0.0	3.0	1.9	0.0	0.0
5월	9.4	5.4	0.0	2.5	3.0	1.9	0.0	0.0
6월	9.4	7.1	0.0	0.0	3.0	1.7	0.0	0.8
7월	9.4	6.8	0.0	0.4	3.0	1.9	0.0	0.0
8월	9.4	7.1	0.0	0.0	3.0	1.9	0.0	0.0
9월	9.4	7.1	0.0	0.0	3.0	1.9	0.0	0.0
10월	9.2	0.0	0.2	0.0	3.0	0.4	0.0	4.7
11월	9.0	-	0.6	-	3.0	-	0.0	-
12월	9.2	-	0.3	-	2.8	-	0.6	-

으므로, 〈표 6〉을 보면 점검 작업을 주로 담당하는 인턴직원의 수가 〈표 1〉에 비해 상당히 감소하였음을 볼 수 있다. 〈표 8〉과 〈표 9〉는 경수리팀과 중수리팀의 정직원 및 인턴직원의 월간 점검량, 예상 고장량, 가능 수리량을 보여준다.

와 1인당 일일 할당할 점검량 및 수리량을 얻었다. 하지만, 이번 장에서는 실제 데이터에서 얻은 이러한 매개변수의 값이 고정된 것이 아니라 변화하게 될 때 인건비 및 정비부서의 운영에 어떠한 영향을 미치는지를 민감도 분석을 통하여 알아보고, 그에 따른 효과적인 운영 전략을 제시하는 것을 목표로 한다.

V. 매개변수의 변화에 따른 최적 운영 전략의 수립

지금까지는 A사 정비부서의 실제 데이터로부터 얻은 여러 매개변수의 주어진 특정 값을 사용하여 수리계획모형을 푼 후, 경수리팀과 중수리팀이 각각 고용해야 할 최적의 정직원 및 인턴직원의 수

5.1 경수리 부분과 중수리 부분의 고장율 변화

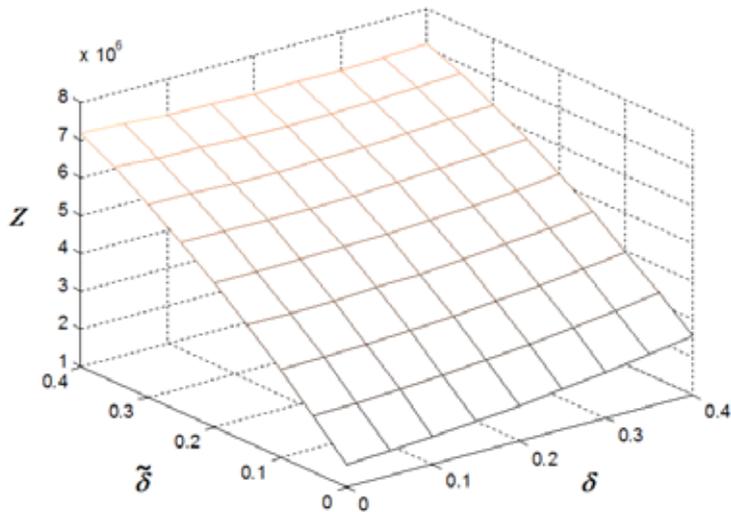
자판기의 고장율은 자판기의 종류와 사용 연수 등에 따라 다른 값을 가지게 된다. 〈그림 5〉는 경수리 부분과 중수리 부분의 고장율($\delta, \bar{\delta}$)의 변화에 따라 총 인건비 Z 가 어떻게 증가하고 감소하는지를 보여준다. 〈그림 5〉에서 관찰할 수 있는 중요

〈표 8〉 경수리팀 정직원 및 인턴직원의 월간 점검량, 가능 수리량, 예상 고장량

	X 의 점검량	x_3 의 점검량	x_4 의 점검량	x_5 의 점검량	x_6 의 점검량	x_7 의 점검량	x_8 의 점검량	월간 점검량 u_j	X 의 수리량	x_3 의 수리량	x_4 의 수리량	x_5 의 수리량	x_6 의 수리량	x_7 의 수리량	x_8 의 수리량	월간 가능 수리량	월간 예상 고장량 V_j
1월	0	-	-	-	-	-	-	0	5,490	-	-	-	-	-	5,490	5,379	
2월	1,071	-	-	-	-	-	-	1,071	4,137	-	-	-	-	-	4,137	4,052	
3월	292	0	-	-	-	-	-	292	5,974	0	-	-	-	-	5,974	5,849	
4월	0	0	0	-	-	-	-	0	5,885	0	660	-	-	-	6,545	6,313	
5월	0	0	227	341	-	-	-	568	5,888	0	499	748	-	-	7,135	6,840	
6월	0	-	0	0	0	-	-	0	5,796	-	644	966	161	-	7,567	7,164	
7월	0	-	-	55	9	83	-	147	5,614	-	-	905	151	1,358	8,029	7,681	
8월	0	-	-	-	0	0	0	0	5,589	-	-	-	169	1,522	7,280	7,019	
9월	0	-	-	-	-	0	0	0	5,384	-	-	-	-	1,397	6,781	6,578	
10월	93	-	-	-	-	-	0	93	5,431	-	-	-	-	-	5,431	5,322	
11월	295	-	-	-	-	-	-	295	4,578	-	-	-	-	-	4,578	4,470	
12월	182	-	-	-	-	-	-	182	4,898	-	-	-	-	-	4,898	4,801	

〈표 9〉 중수리팀 정직원 및 인턴직원의 월간 점검량, 가능 수리량, 예상 고장량

	\tilde{X} 의 점검량	\tilde{x}_3 의 점검량	\tilde{x}_4 의 점검량	\tilde{x}_5 의 점검량	\tilde{x}_6 의 점검량	\tilde{x}_7 의 점검량	\tilde{x}_8 의 점검량	월간 점검량 \tilde{u}_j	\tilde{X} 의 수리량	\tilde{x}_3 의 수리량	\tilde{x}_4 의 수리량	\tilde{x}_5 의 수리량	\tilde{x}_6 의 수리량	\tilde{x}_7 의 수리량	\tilde{x}_8 의 수리량	월간 가능 수리량	월간 예상 고장량 \tilde{V}_j
1월	201	-	-	-	-	-	-	201	231	-	-	-	-	-	231	216	
2월	41	-	-	-	-	-	-	41	227	-	-	-	-	-	227	212	
3월	0	0	-	-	-	-	-	0	316	47	-	-	-	-	363	303	
4월	0	0	0	-	-	-	-	0	318	45	45	-	-	-	409	338	
5월	0	0	0	0	-	-	-	0	289	45	45	45	-	-	424	369	
6월	0	-	18	18	18	-	-	54	324	-	38	38	38	-	438	402	
7월	0	-	-	0	0	0	-	0	314	-	-	43	43	86	486	427	
8월	0	-	-	-	0	0	0	0	284	-	-	-	46	93	516	400	
9월	0	-	-	-	-	0	0	0	283	-	-	-	-	85	453	364	
10월	0	-	-	-	-	-	224	224	300	-	-	-	-	-	318	290	
11월	0	-	-	-	-	-	-	0	251	-	-	-	-	-	251	234	
12월	56	-	-	-	-	-	-	56	263	-	-	-	-	-	263	246	

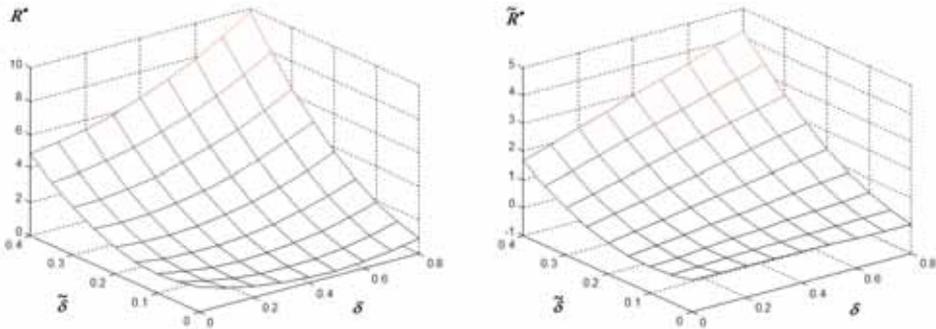


〈그림 5〉 고장율과 총 인건비

한 사항은 총 인건비 Z 는 경수리 부분의 고장율 δ 보다 중수리 부분의 고장율 $\tilde{\delta}$ 의 변화에 훨씬 민감하게 반응한다는 사실이다. 따라서, 정비부서의 운영시 중수리 부분의 고장율이 증가하지는 않는지 주기적으로 관찰해야 하며, 중수리 부분의 고장율을 낮출 수 있는 방안을 간구해야 한다. 예를 들어, 자판기가 점차 노후되어 중수리 부분인 냉각기 등에서 고장이 점차 자주 발생한다면, 냉각기를 교체할 경우 드는 기계의 비용과 새로운 냉각기를 사용하여 감소하게 될 고장율로 인한 총 인건비의 절감이 주는 트레이드오프를 면밀하게 분석해야 할 것이다. 전년도 A사 정비부서의 운영 데이터로부터 얻은 경수리 부분과 중수리 부분의 고장율은 $\delta = 0.2770$, $\tilde{\delta} = 0.0122$ 였다.

〈그림 6〉은 경수리 부분과 중수리 부분의 고장율 $(\delta, \tilde{\delta})$ 이 변화함에 따라 총 인건비를 최소화하는 최적 점검율 (R^*, \tilde{R}^*) 이 어떻게 변화하는지를 보여준다. 아래의 결과에서 몇 가지 흥미로운 결과를 관

찰할 수 있는데, 첫째는 경수리 부분과 중수리 부분 각각의 고장율이 증가하게 되면, 고장을 미리 예방하기 위해서 점검량을 늘리는 전략이 최적의 운영 방식임을 〈그림 6〉에서 확인할 수 있다. 여기서 경수리 부분의 고장율 δ 가 증가할 때 경수리 부분의 최적 점검율 R^* 가 증가하고, 마찬가지로 중수리 부분의 고장율 $\tilde{\delta}$ 가 증가할 때 중수리 부분의 최적 점검율 \tilde{R}^* 가 증가하는 것은 쉽게 이해할 수 있다. 즉, 고장율이 점점 높아질수록 상대적으로 시간이 더 오래 걸리는 고장 작업의 수를 줄이기 위하여 점검율을 높이는 것이다. 둘째로 연간 최적 점검율은 경수리 부분의 고장율보다 중수리 부분의 고장율의 증가에 더 민감하게 반응하는 것을 볼 수 있다. 셋째로 A사 정비부서의 경우 중수리 부분이 고장 나도 일단 경수리팀이 출동해서 점검을 해야 하고, 중수리팀은 중수리 부분의 점검을 할 때 간단한 경수리 부분의 점검도 동시에 수행하는 등, 각 팀의 업무가 서로 연결되어 있다. 따라서



(a) 경수리 부분의 연간 최적 점검율

(b) 중수리 부분의 연간 최적 점검율

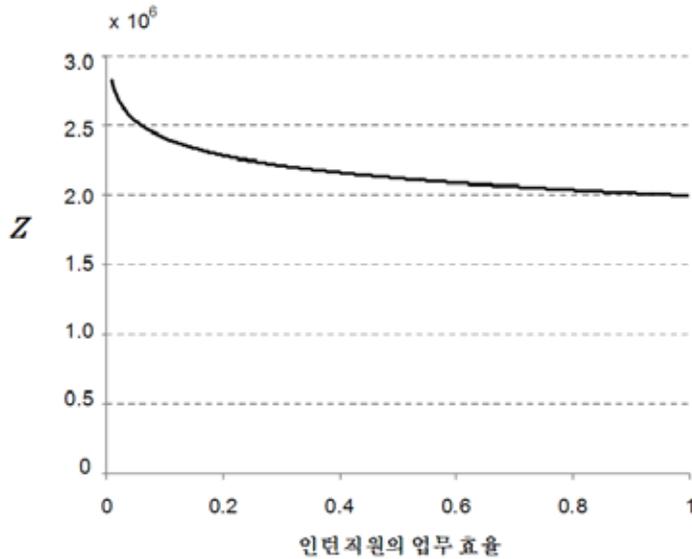
〈그림 6〉 고장율과 연간 최적 점검율

중수리 부분의 고장율 δ 가 증가하여도 경수리 부분의 최적 점검율 R^* 가 증가하게 되고, 반대로 경수리 부분의 고장율 δ 가 증가하여도 중수리 부분의 최적 점검율 \tilde{R}^* 가 증가하게 됨을 관찰할 수 있다. 전년도 A사 정비부서의 경수리 부분과 중수리 부분의 고장율 $\delta = 0.2770$, $\tilde{\delta} = 0.0122$ 에 대해, 각 부분

의 연간 최적 점검율은 $R^* = 10.75\%$, $\tilde{R}^* = 1.63\%$ 이었다.

5.2 인턴직원의 업무 효율 변화

〈그림 7〉은 인턴직원의 업무 효율에 따른 총 인



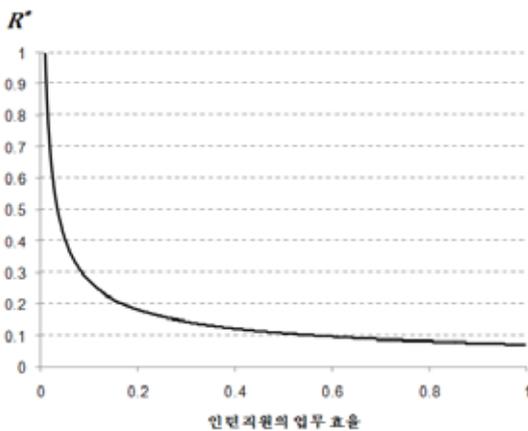
〈그림 7〉 인턴직원의 업무 효율과 총 인건비

건비의 변화를 보여준다. 인턴직원의 근무 효율이 증가 할수록 동일한 작업량을 처리하는데 필요한 직원의 수가 줄어들기 때문에 총 인건비가 감소한다는 사실은 상식적인 결과이지만, 여기서 주목할 사항은 그래프가 체감한다는 사실이다. 이는 A사 정비부서에서 고용한 인턴직원들이 커버하지 못하는 계절이 존재하고, 이때에는 정직원으로만 운영을 해야 하기 때문에 인턴직원들의 업무 기여도에 한계가 있다. 4장에서는 A사 정비부서에서 새로 고용하는 인턴직원의 업무 효율이 60% 정도일 것으로 예측하고 운영 계획을 수립하였다. 하지만 이 예측이 $\pm 20\%$ 범위 내에서 오차를 가졌다 할지라도, 총 인건비의 차이는 약 $\pm 1.3\%$ 에 불과하다.

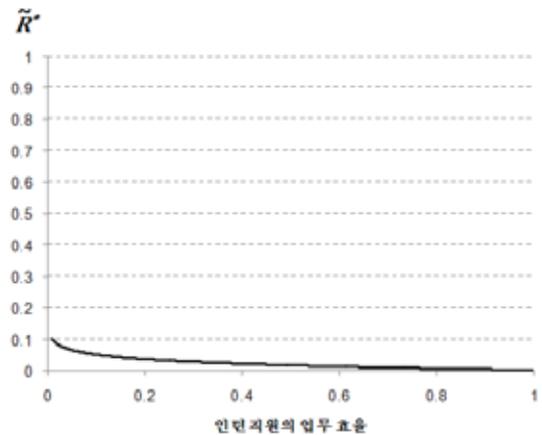
또한, 인턴직원 채용 시 제공하는 기초적인 업무 교육 이외에, 업무 효율을 더 증진시키기 위해서 추가적인 교육 프로그램 등을 수행하는 것이 어느 정도 바람직한지를 <그림 7>로부터 판별할 수 있다. 예를 들어, 인턴직원이 정직원의 업무 능력 대비 40% 정도의 낮은 업무 효율을 보이고 있다면,

이들 인턴직원들의 업무 효율을 80% 정도까지 끌어올리기 위해 추가적인 교육 프로그램을 고려할 수 있고, 이 때 업무 효율의 증가로 인한 총 인건비의 절감액이 추가로 제공되는 교육 프로그램에 투입되는 비용 보다 큰 경우에 이에 대한 투자가 정당화 될 것이다.

<그림 8>은 인턴직원들의 업무 효율이 변화할 때 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최적 점검율이 어떻게 영향을 받는지를 보여준다. 이 경우 인턴직원의 업무 효율이 올라갈수록 최적 점검율의 수준은 낮아지는 결과를 얻게 되는데, 업무 효율이 높아지게 되면 고장난 자판기를 수리하는데 걸리는 시간도 감소하게 되므로 점검율의 수준을 낮추는 것이 바람직할 것이라는 직관과 일치한다. 하지만, 인턴직원의 업무 효율이 약 40%만 넘게 되더라도 경수리 부분의 최적 점검율은 미미하게 줄어들게 되고, 중수리 부분은 상대적으로 전 구간에 걸쳐 최적 점검율이 거의 영향을 받지 않는 것을 관찰할 수 있다.



(a) 경수리 부분의 연간 최적 점검율



(b) 중수리 부분의 연간 최적 점검율

<그림 8> 인턴직원의 업무 효율과 연간 최적 점검율

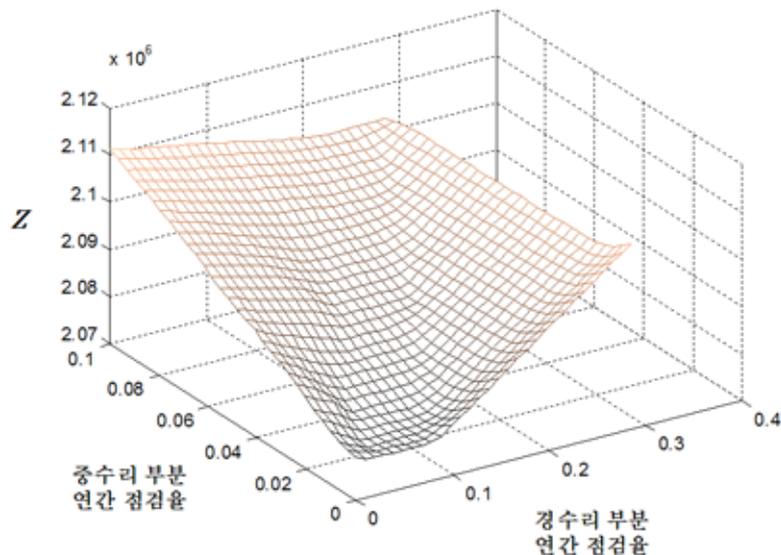
5.3 연간 점검율의 변화

〈그림 9〉는 경수리 부분과 중수리 부분에 대해 실제 수행하는 연간 점검율에 따라 총 인건비가 어떻게 변화하는지의 관계를 보여주고 있으며, 이를 구하기 위해서는 3장에서 소개한 수리계획모형에서 수식 (9), (10)의 부등식을 등식으로 변환하고 풀면 된다. 여기서 관찰할 수 있는 것은 경수리 부분과 중수리 부분의 점검 수준 모두 연간 최적 점검율 값인 $R^*=10.75\%$ 와 $\tilde{R}^*=1.63\%$ 로부터 벗어날수록 총 인건비가 증가한다는 사실이며, 각 축의 스케일을 고려할 때 총 인건비는 경수리 부분의 점검율 보다 중수리 부분의 점검율 변화에 훨씬 더 민감하게 반응한다는 것이다. 중수리 부분의 연간 점검율을 최적인 1.63%로 유지한 상태에서 경수리 부분의 연간 점검율을 현재의 10.75%보다 수 % 범위 내에서 더 크게 잡더라도 총 인건비에 미

치는 변화는 상대적으로 작지만, 반대로 경수리 부분의 연간 점검율을 고정하고 중수리 부분을 현재의 연간 최적 점검율인 1.63%에서 수 %를 증가시키면 총 인건비가 상대적으로 가파르게 증가함을 관찰할 수 있다. 따라서, A사가 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최소 목표 점검율을 100%와 10%로 너무 높게 정해놓고 지금까지 운영해 온 사례에서 보았듯이, 필요 이상으로 연간 목표 점검율을 높게 설정하게 되면 고장을 예방하는 효과 대비 투입되는 추가 인건비가 상대적으로 커지게 되므로 최적 점검율에 맞게 운영을 하는 것이 중요하다는 결론을 내릴 수 있다.

5.4 점검시간 대비 수리시간의 비율 변화

경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최적 점검율과 그에 따른 직원의 업무 배치에 밀접하게 영향을



〈그림 9〉 연간 점검율과 총 인건비

미치는 사항 중 하나는 점검에 걸리는 시간과 수리에 걸리는 시간의 비율이다. 예를 들어, 수리시간이 점검시간에 비해 상당히 길다면, 이 경우 점검을 자주 해서 고장을 미리 예방하는 운영 전략을 세우는 것이 효과적일 수 있다. 반면, 수리시간이 점검시간과 비교하여 거의 차이가 없다면, 굳이 목표 점검율을 높게 설정하기 보다는 고장 신고가 접수될 때마다 수리 작업에 응하는 편이 더 나을 수도 있을 것이다. 점검시간 대비 수리시간의 비율 μ 를 다음과 같이 정의하자.

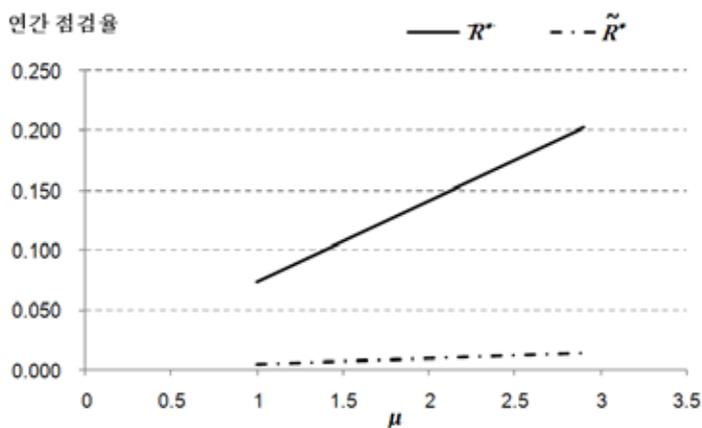
$$\mu = \frac{\text{수리시간}}{\text{점검시간}}$$

경수리팀과 중수리팀의 μ 값을 증가시키면 그에 따라 수식 (12)-(15)가 변화하게 되는데, <그림 10>은 경수리 부분과 중수리 부분의 연간 최적 점검율이 변화하는 모습을 보여준다. 경수리팀과 중수리팀의 μ 값을 각각 1에서부터 3까지 증가시키거나 갈 때 경수리 부분의 연간 최적 점검율은 상대적으로 크게 변하여 약 7.5%에서 약 20%까지 증가하

지만, 중수리 부분의 연간 최적 점검율은 이에 비해 훨씬 미미하게 증가한다. 이러한 결과는 중수리 부분의 고장율이 경수리 부분에 비해 훨씬 낮기 때문이며, 따라서 비록 수리에 걸리는 시간이 다소 길어진다고 할지라도 중수리 부분의 점검율을 그다지 높이지 않는 운영 전략이 효과적이라는 것을 의미한다. 4장에서 A사 정비부서의 실제 데이터를 이용하여 분석하였을 때의 μ 값은 경수리 직원의 경우 약 1.4였고, 중수리 직원의 경우 약 2.6이었다. 따라서 향후 μ 값이 현재의 값으로부터 증가하거나 감소할 경우 그에 따라 민감하게 변동하는 경수리 부분의 연간 최적 점검율에 맞추어 운영 계획을 수립해야 할 것이다.

VI. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 과거 정확한 기준 없이 운영되어 왔던 캔음료 자판기 정비부서의 운영 방식에 최적



<그림 10> 점검시간 대비 수리시간 비율과 연간 최적 점검율

화 기법을 도입하여 서비스 수준과 인건비를 관리하는 방법을 제시하고 있다. 캔음료 자판기 정비부서는 다른 종류의 자판기 정비부서와 달리 업무의 특성상 경수리팀과 중수리팀으로 정비부서를 나누어 운영하고 있으며, 두 팀 간의 업무가 상호 연관된 부분도 있지만 업무 처리 능력과 범위에 있어 수직적 상하관계가 존재하는 특성을 가지고 있는데, 본 연구에서는 이러한 복잡한 특성을 반영하여 새로운 수리계획모형을 제시하였다. 특별히 본 논문에서 가장 중점을 두고 분석한 것은 수리계획모형의 여러 매개변수의 변화에 따라 인건비와 운영 전략이 어떻게 달라지는가 하는 것이었다. 첫째, 경수리 부분에 비해 중수리 부분의 고장율이 증가함에 따라 인건비와 최적 점검율이 훨씬 더 민감하게 증가하는 관계를 보였다. 둘째, 인턴직원의 근무효율은 인건비 및 최적 점검율과 반비례 관계를 나타내었다. 셋째, 경수리 부분에 비해 중수리 부분에서의 점검율이 최적의 수치를 넘어갈수록 가파르게 인건비가 증가함을 발견하였다. 마지막으로, 경수리 부분은 점검시간 대비 수리시간의 비율이 높을수록 미리 점검율을 증가시켜 고장을 예방하는 것이 좋은 운영 전략으로 나타났고, 중수리 부분에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 분석 결과 나타났다.

비록 본 논문에서는 캔음료 자판기 정비부서의 사례를 들어 분석하였지만, 비단 자판기 업계뿐만 아니라 수직적 상하관계를 가지고 별도로 나뉜 팀이 존재하는 어떠한 업계의 정비부서에도 본 연구에서 사용된 문제해결 방식과 수리계획모형은 더 확장되고 응용될 수 있다는 점에서 본 연구가 가지는 보다 넓은 의미의 이론적 의의가 있다고 하겠다. 그리고 현재 수많은 도시에 많은 자판기를 비롯하여 가전제품, 사무기기, 공공시설 등 다른 영

역의 무수히 많은 정비부서 운영에 본 연구가 적용되어, 고객만족도를 증가시키고, 운영비용을 절감하며, 정비부서 업무의 효율을 증진시킬 수 있다는 점에서 본 연구가 가지는 실무에서의 파급 효과 또한 적지 않을 것으로 예상된다.

본 논문에서는 이번 달에 행해진 수리량 및 점검량을 통해 다음달의 고장량을 예측하는 것을 가정하였는데, 실제 현실에서는 현재의 수리 및 점검 효과가 다음 달만이 아닌 2개월 후, 3개월 후에도 점차 줄어들면서 영향을 미칠 가능성이 있다. 하지만 본 연구에서 사용한 가정 및 방법도 A사의 데이터에 적용한 결과 현실을 근사적으로 잘 반영하였고, 이는 향후 보다 복잡하고 정밀한 관계식을 도출하는데 있어 중요한 시발점으로서 의의가 있다고 하겠다. 다만, 보다 미세하고 정밀한 관계를 얻어내는 연구를 위해서는 현재 운영 중인 장비의 고장에 대한 확률 분포를 얻어내는 것이 필요할 것이며, 이에 관한 연구는 본 논문이 다루는 범위에서 벗어난 주제이므로, 확률 모형을 도입하여 수리 및 점검의 효과가 미치는 범위를 예측하고 반영하도록 개선하는 것은 향후의 과제로 미루어 둔다. 그리고 현장 실무에서 본 연구를 계속적으로 적용하기 위해서는 월별 평균 운영 자판기 수, 월별 최대 근무일수, 경수리 부분과 중수리 부분의 고장율, 정직원 대비 인턴직원의 근무 효율 등에 대한 데이터의 변화를 주기적으로 관찰하여 어떠한 변화의 추세가 발생하는지 파악해야 할 것이다.

본 논문에서는 경수리팀과 중수리팀의 정직원 및 인턴직원 모두 근무일 마다 동일한 업무시간을 가진다는 가정 하에서 수리계획모형을 제시하였다. 하지만, 어떤 직원은 하루에 4시간만 근무하고, 혹은 어떤 직원은 일주일에 3일만 근무하는 등 유연성을 가지고 파트타임으로 일하는 직원을 고용하는

것도 흥미로운 연구주제가 될 수 있다. 또한, 본 논문에서는 업계의 관행에 따라 경수리와 중수리 직원을 따로 분리하여 운영하고 있는데, 이를 통합하여 운영하는 방법도 모색해 볼 수 있을 것이다. 즉, 모든 직원이 경수리 부분 및 중수리 부분의 점검과 수리를 할 수 있도록 한다면, 모든 인력에게 중수리 부분의 고장을 처리할 수 있는 장비를 지급하고 교육을 시켜야 하기 때문에 이와 관련된 비용이 상승하지만, 대신 고장 신고 시 경수리팀 직원과 중수리팀 직원이 이중으로 출동하는 낭비가 사라지고 운영이 단순해지기 때문에 이로 인한 트레이드오프 효과를 분석해야 할 것이다. 이를 고려하여 통합된 부서 운영으로 인건비를 개선하는 방법에 관한 연구는 향후의 연구 과제로 남겨두도록 한다.

본 논문에서는 자판기 정비부서 운영의 절대 비중을 차지하는 인건비를 최소화하는 전략을 수립하였지만, 향후 연구에서는 고장으로 인한 수익 손실 등의 비용을 목적함수식에 포함하는 것도 가능할 것이다. 이 경우, 대도시와 중소도시 등 지역에 따라 자판기 사용량이 다르기 때문에 이 비용 또한 편차가 있는데, 그에 따른 운영 전략의 변화를 분석하는 것도 흥미로운 연구 주제가 될 것이다. 마지막으로, 본 논문에서는 서비스의 공급자 입장에서 총 인건비를 최소화하는 목적을 달성하기 위해 확정적(deterministic)인 방법론의 하나인 수리계 획모형을 바탕으로 인력 계획 및 운영 방법을 제시 하였지만, 고객만족의 차원에서 볼 때 고장 신고가 접수되고 난 이후 고객들의 대기시간을 단축시키기 위하여 인력 계획 및 운영 전략을 세울 수도 있을 것이다. 이것을 위해서는 고장 신고가 접수되는 확률 분포와 수리 작업에 걸리는 시간에 대한 확률 분포를 얻어낸 후, 확률적(stochastic) 방법론 중 하나인 대기행렬이론(queueing theory)을 사용할

수 있으며, 이 방법론을 사용하는 여러 가지 확장된 연구도 흥미로운 주제가 될 것이다.

참고문헌

- 한국 자동판매기 공업협회 (2007), "국내 자동판매기 연도 별 내수 통계", <<http://kova21.or.kr/statistic/statistic.asp>>
- 서울시 자동판매기 협동조합 (1998), "국내 자판기 역사," 월간 자동판매기
- W. Abernathy, N. Baloff, J. Hershey, S. Wandel (1973), "A three stage manpower planning and scheduling model: A service sector example," *Operations Research*, 22 (3), 693-711.
- D. Ashley (1995), "A spreadsheet optimization system for library staff scheduling," *Computers and Operations Research*, 22 (6), 615-624.
- J. Atlason, M.A. Epelman, S.G. Henderson (2004), "Call center staffing with simulation and cutting plane methods," *Annals of Operations Research* 127, *Special Issue on Staff Scheduling and Rostering*, 333-358.
- T. Aykin (1996), "Optimal shift scheduling with multiple break windows," *Management Science*, 42 (4), 591-602.
- A. Balakrishnan, R. Wong (1990), "A network model for the rotating workforce scheduling problem," *Networks*, 20, 25-42.
- J. Beasley, B. Cao (1998), "A dynamic programming based algorithm for the crew scheduling problem," *Computers and Operations*

- Research*, 25 (7-8), 567-582.
- N. Beaumont (1997), "Using mixed integer programming to design employee," *Journal of the Operational Research Society*, 48(6), 585-590.
- E. Boukas, A. Haurie (1990), "Manufacturing flow control and preventing maintenance: A stochastic control approach," *IEEE Transactions on Automatic Control*, 33 (9), 1024-1031.
- A. Caprara, M. Fischetti, P. Guida, P. Toth, D. Vigo (1999), Solution of large-scale railway crew planning problems: The Italian experience, in: N. Wilson (Ed.), *Computer-Aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer, Berlin, pp. 1-18.
- M. Carter, S. Lapierre (2001), "Scheduling emergency room physicians," *Health Care Management Science*, 4, 347-360.
- M. Chamberlain, A. Wren (1992), Developments and recent experience with the Busman and Busman II systems, in: M. Desrochers, J. Rousseau (Eds.), *Computer-Aided Transit Scheduling, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer-Verlag, pp. 1-15.
- A. Chelbi, D. Ait-Kadi (2004), "Analysis of a production/inventory system with randomly failing production unit submitted to regular preventive maintenance," *European Journal of Operational Research*, 156, 712-718.
- G. Dantzig (1954), "A comment on Edie's traffic delay at toll booths," *Operations Research*, 2, 339-341.
- T. Das, S. Sarkar (1999), "Optimal preventive maintenance in a production inventory system," *IIE Transactions*, 31, 537-551.
- B. Dodin, A. Elimam, E. Rolland (1998), "Tabu search in audit scheduling," *European Journal of Operational Research*, 106 (2-3), 373-392.
- K. Dowland, J. Thompson (2000), "Solving a nurse scheduling problem with knapsacks, networks and tabu search," *Journal of the Operational Research Society*, 51, 825-833.
- L. Edie (1954), "Traffic delays at toll booths," *Journal Operations Research Society of America*, 2 (2), 107-138.
- A. Ernst, H. Jiang, M. Krishnarnoorrh, D. Sier (2004), "Staffing scheduling and rostering: a review of applications, methods and models," *European Journal of Operations Research*, 153, 3-27.
- B. Faaland, T. Schmitt (1993), "Cost-based scheduling of workers and equipment in a fabrication and assembly shop," *Operations Research*, 41 (2), 253-268.
- B. Feiring (1993), "A model generation approach to the personnel assignment problem," *Journal of the Operational Research Society*, 44 (5), 503-512.
- M. Gamache, F. Soumis (1998), A method for optimally solving the rostering problem, in: G. Yu (Ed.), *OR in Airline Industry*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 124-157.
- S. Henderson, A. Mason, I. Ziedins, R. Thomson (1999), A heuristic for determining efficient staffing requirements for call centres, Technical Report, Department of Engineering Science, University of Auckland.
- A. Ingolfsson, M. Haque, A. Umnikov (2002), "Accounting for time-varying queueing effects in workforce scheduling," *European Journal*

- of *Operational Research*, 139, 585-597.
- J.-P. Kenné, A. Gharbi, M. Beit (2006), "Age-dependent production planning and maintenance strategies in unreliable manufacturing systems with lost sale," *European Journal of Operational Research*, 178, 408-420.
- S. Kim (2009), "The toll plaza optimization problem: Design, operations, and strategies," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1), 125-137.
- C. Lee, G. Vairaktarakis (1997), "Workforce planning in mixed model assembly systems," *Operations Research*, 45(4), 553-567.
- J. Loucks, F. Jacobs (1991), "Tour scheduling and task assignment of a heterogeneous workforce: A heuristic approach," *Decision Sciences*, 22 (4), 719-739.
- H. Millar, M. Kiragu (1998), "Cyclic and non-cyclic scheduling of 12 h shift nurses by network programming," *European Journal of Operational Research*, 104 (3), 582-592.
- A. Mingozi, M. Boschetti, S. Ricciarde, L. Biancolli (2000), "A set partitioning approach to the crew scheduling problem," *Operations Research*, 47(6), 873-888.
- I. Ozkarahan, J. Bailey (1988), "Goal programming model subsystem of a flexible nurse scheduling support system," *IIE Transactions*, 20 (3), 306-316.
- L.P. Ritzman, L. Krajewski, M. Showalter (1976), "The disaggregation of aggregate manpower plans," *Management Science*, 22 (11), 1204-1214.
- P. Taylor, S. Huxley (1989), "A break from tradition for the San Francisco police: Patrol officer scheduling using an optimization-based decision support system," *Interfaces*, 19 (1), 4-24.
- D. Teodorovic (1998), "A fuzzy set theory approach to the aircrew rostering," *Fuzzy Sets and Systems*, 95 (3), 261-271.
- W. Tharmmaphornphilas, B.A. Norman (2004), "A quantitative method for determining proper job rotation intervals," *Annals of Operations Research* 128, Special Issue on Staff Scheduling and Rostering.
- M. Wright (1991), "Scheduling English cricket umpires," *Journal of the Operational Research Society*, 42 (6), 447-452.

Sensitivity Analysis on the Operational Strategies for Maintenance

Sunghwan Yoo* · Seongmoon Kim**

Abstract

We provide a mathematical programming model which calculates the number of workers to hire and assigns tasks to those workers for efficient operations of the maintenance department. The objective function of the mathematical model is to minimize the total labor costs. We examine the applicability of the proposed mathematical programming model through numerical evaluation.

The main focus of this paper is the sensitivity analysis on the total labor cost and the optimal maintenance level by changing diverse parameters in the mathematical model. First, the increase on the failure rate of the major parts will sharply raise the total labor cost and the optimal maintenance level relative to the one of the minor parts. That is, if the major parts get older and break down more often than the average due to the long usage time, it will be better to perform maintenance more frequently in order to prevent any potential failure.

Second, increasing the efficiency of intern workers will decrease the total labor cost and the optimal maintenance level. Usually the training cost of the educational program is required in order to increase the efficiency of intern workers. Then, the investment on the educational program should be compared with the decreasing amount of the total cost by the increased efficiency of intern workers for justification of the investment. We also demonstrate that the decrease on the optimal maintenance level by the increased efficiency of intern workers is more sensitive for the minor parts than for the major parts.

Third, if the maintenance level goes beyond the optimal level, the total labor cost will go up rapidly for the major parts relative to the minor parts. The case study on the current

* Department of Computer Science, Yonsei University

** Assistant Professor, School of Business, Yonsei University

operations in the maintenance department shows that the level of maintenance is well above the optimal level in both the major and the minor parts. In order to minimize the total labor cost, it is crucial to perform maintenance corresponding to the optimal levels for the major and the minor parts, respectively.

Lastly, the ratio of the repair time relative to the maintenance time has been investigated. Generally speaking, when the ratio gets bigger, the optimal maintenance levels for the major and minor parts proportionally increase, which means that if it takes longer for repairing the broken machine compared for performing the maintenance, it is advisable to raise the maintenance level in order to prevent any potential failure of the machine. We find the increasing rate of the optimal maintenance level is higher for minor parts than for the major parts.

Key words: Canned beverage vending machine; Service department; Operational strategy; Sensitivity analysis