〈研究論文〉

Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers Vol. 13, No. 1, June. 1987

자동유도운반차 (Automatic Guided Vehicle) 스케쥴링 해법[+]

(An Algorithm for Automatic Guided Vehicle Scheduling Problems)

박 양 병*

전 덕 빈*

Abstract

Automatic Guided Vehicle Systems feature battery powered driverless vehicles with programming capabilities for path selection and positoning. Vehicles serve the machines in shop, following a guide path system installed on the shop floor. The basic problem in the system is to determine a fixed set of vehicle routes of minimal total distance(time) while keeping capacity and distance(time) constraints. In this paper, a heuristic algorithm is presented for scheduling the automatic guided vehicles. The algorithm routes the machines based on their distances and polor coordinate angles, taking into account the structural feature of the system. Computational experiments are performed on several test problems in order to evaluate the proposed algorithm. Finally, a framework for dealing with the case where supplies from the machines are probabilistic is described.

1. 서 론

Automatic Guided Vehicle System(AGVS)은 자동공장조직의 한 부분으로서 작업장에서 물자배급 및 수거기능을 수행하는 여러 자동유도운반차(Automatic Guided Vehicle:AGV)의 운영시스템을 뜻한다. AGV는 전자기 또는 광막기능에 의한 자동 유도장치를 갖추고 설치된 유도궤도를 따라 바테리를 이용하여 운행하도록 되어 있다. AGV는 필요한 물품을 자동으로 하적하고 선적할 수 있도록 소형 롤러 콘베이어, lift/lower 테이블, folk 등의 장비를 갖추고 있으며, 차량의 운행과 작업은 주 computer에 의한 원격조정 또는 운반차 내부에 설치된 마이크로 콤퓨터에 저장된 프로그램에 의해 수행되는 무인 운반차이다[1]. AGVS는 콤퓨터에 의해 운영통제되는 제조공정과 창고조직과의 연결을 위한 필수적인 매개체로서 그 연구의 중요성이 부각되고 있다.

일반적으로 자동공장시스템에서는 AGV를 이용하여 작업장내 또는 작업장과 근접위치한 중앙 창고에 저장되어 있는 원자재 및 반제품을 각 소작업장(workstation, 기계설비)의 필요에 따라 공급하거나, 가공 완료된 반제품을

*경희대학교 공과대학 산업공학과

†본 연구는 경희대학교 교내연구비 지원에 의한 것임

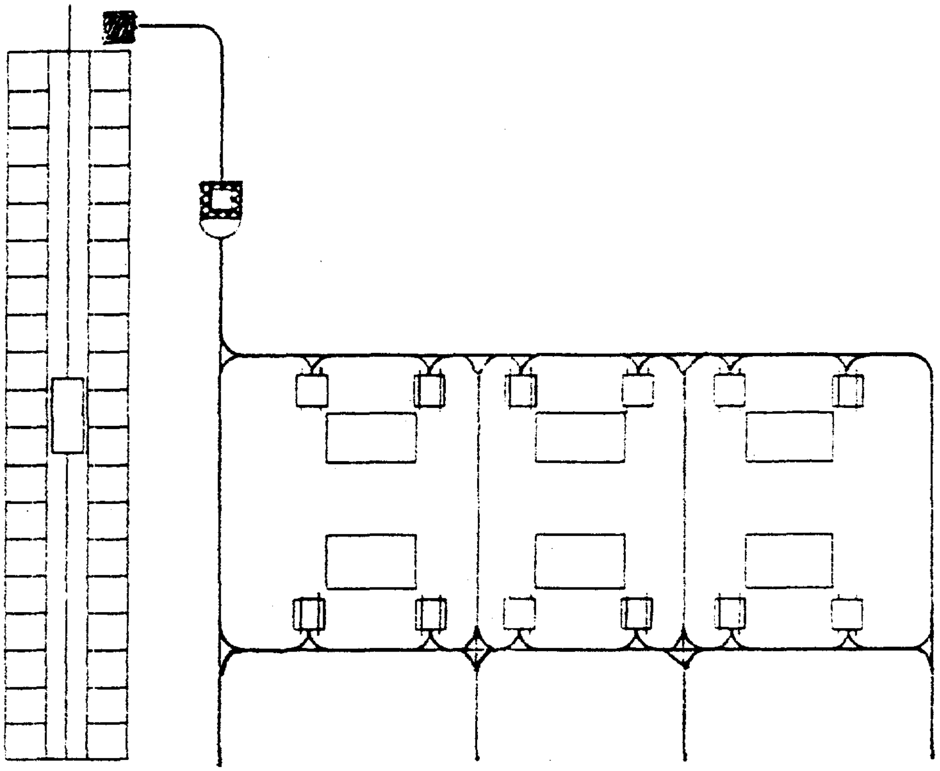

그림 1. 창고와 작업장내 기계설비간의 물자 전달을 위한 AGVS [Ref. 1]

수거하여 중앙창고에 저장하도록 설계되어 있다. 이것은 소작업장내의 중간저장공간을 제거하여 공간이용도를 극대화하고 불 필요한 중간 물자 취급과정을 극소화 하려는 데 그 목적을 두고 있다[2]. 그림 1은 자동저장창고(Automated Storage and Retrieval System:AS/RS)와 소작업장들이 AGV에 의해 연결되어 있는 생산 시스템의 일부분을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 작업장내의 기계설비들은 일반적으로 바둑판 형태 격자구조의 교차점에 위치하도록 배치되어 있다.

AGVS 운영에 관한 중요한 문제중 하나는 작업장내에 위치해 있는 기계설비들의 서비스를 수행하기 위한 AGV의 최적경로를 결정하는 것이다. 여기서 서비스는 물자의 공급, 수거 또는 공급과 수거의 동시 수행을 의미한다. 또한 AGV는 중앙통제 (centralized control)를 가정한다. 중앙통제란 AGV를 한 depot에 모아 두고 관리하는 것을 뜻한다.

AGV 스케쥴링 문제는 다음과 같이 요약되어 정의될 수 있다. : 수용능력과 운행거리(또는 시간)의 한계를 갖고 있는 AGV가 창고 입구에 위치한 depot로 부터 출발하여 유도궤도를 따라 작업장 내에 위치해 있는 일련의 기계설비들에 대한 물자서비스를 완전히 수행한 다음 depot로 되돌아 온다. 주어진 제약조건을 지키며 총 이동거리(또는 시간)을 최소화하는 AGV 이동경로의 결정을 그 목적으로 하고 있다.

서비스에 따른 공급또는 수거의 대상이 되는 물자의 양은 확정적으로 미리 알려져 있을 수도 있으며(확정적 AGV 스케쥴링 문제) 또는 재료공급지연, 작업자나 기계설비 자체의 수행도에 따른 작업상태의 변화에 기인한 불확실성을 고려하여 어느 특정한 확률 분포를 가정할 수도 있다(확률적 AGV 스케쥴링 문제).

운행거리(또는 시간)에 대한 제약조건은 생산일정계획에 따른 AGV의 운행계획 및 AGV 고유의 기능특성에 기인한다.

AGV 스케쥴링 문제는 자동화된 생산시스템에서 적시에 기계설비를 서비스하여 작업장내 재공품 증가에 따른 공간손실 및 물자취급을 최소화하고 또한 원활한 물자 수급에 의해 연속적인 작업수행을 가능하게 하여 작업공정의 중단을 극소화하여야 한다는 관점에서 그 중요성이 강조되고 있다. 최적의 AGV 스케쥴링에 의한 조직적이고 효율적인 차량운영은, 짧은 시간내에 기계설비들의 서비스요구를 충족시킴으로써 기대되는 비용절감 및 원활한 작업진행의 단기적 효과외에도, 중기적으로는 경제적 차량소요댓수 결정 및 구성 그리고 장기적으로는 depot의 최적위치 선정에 대한 매우 중요한 경영자료를 제공하여 준다.

최근에 들어 AGV 스케쥴링 문제는, 공장자동화에 대한 관심의 증가와 함께 위와 같은 여러측면에서의 중요성에 기인하여 여러 학자들에 의해 연구의 필요성이 적극적으로 표명되어 왔다. 그러나 그들이 주장하는 내용의 공통된 점은 AGVS에 차량경로 결정문제(Vehicle Routing Problem:VRP) 해법의 단순한 적용으로 AGVS의 구조적 특성을 전혀 고려하고 있지않다는 것이다. 또한 실제작업 진행상태에 따라 기계설비에 대한 물자 서비스량이 확률적일 수 있다는 사실을 무시한 확정적 VRP만을 다루고 있다는 것이다. 따라서 AGVS 고유의 구조적 그리고 확률적 특성을 합리적으로 고려한 새로운 AGV 스케쥴링 기법 개발에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 AGVS내 배치되어 있는 기계설비로 부터의 반제품 또는 완성품의 공급량이 확정적인 상황하에서 주어진 제약조건을 만족시키며 총 이동(운행)거리를 최소화하는 AGV들의 최적경로를 결정하는 새로운 발견적 기법의 개발과 함께 그 수행도를 콤퓨터를 이용한 계산실험을 통하여 평가고찰하는 내용을 소개하고자 한다. 또한 기계설비의 공급량이 poisson 분포를 따르는 확률적상황에 대해, 개발된 발견적 기법을 이용하여 AGV들의 최적경로를 결정하는 이론을 소개한다.

2. 차량경로 결정문제

차량경로 결정문제(Vehicle Routing Problem:VRP)는 물품수송을 위한 일반트럭의 경로 결정문제로 지난 20여년에 걸쳐 많은 학자들에 의해 활발한 연구가 수행되어 왔다. AGV 스케쥴링 문제와 VRP의 근본적인 차이점은 서비스 대상인 고객의 배치 형태와 차량의 이동가능 경로에 대한 가정에 있다. 즉 AGV 스케쥴링 문제에서는 기계설비들의 배치가 바둑판형태의 격자구조를 이루며 AGV는 설치된 유도궤도를 따라 직각으로 이동한다고 가정하고 있다. 반면에 VRP에서는 고객(station)들이 임의의 위치에 산재해 있으며 운반차량은 고객과 고객사이의 직선거리이동을 가정하고 있다.

AGV 스케쥴링 문제와 매우 유사한 VRP를 위해 개발된 대표적인 기법들을 검토해 본다. VRP 기법들은 크게 최적해를 찾는 기법과 발견적기법으로 분류될 수 있다. 최적해를 찾기 위한 기법으로 Christofides [3], Pierce[4] 등에 의해 소개된 branch–and–bound 기법적용과 Balinski and Quandt[5] 그리고 Foster and Ryan[6]에 의해 제안된 0−1 integer programming을 들 수 있다. 그러나 VRP가 NP-complete 문제라는 사실에 기인하여 이러한 최적해를 찾기 위한 기법들은 극히 작은 규모의 VRP에 대해서만 그 적용이 가능하였다.

이러한 계산상의 어려움을 극복하기 위해 짧은 시간에 간단히 최적해에 근사한 해를 구할 수 있는 발견적 기법들이 활발히 연구 되었다. Dantzig and Ramser[7]에 의해 처음으로 발견적 기법이 소개된 이후, Clarke and Wright[8]의 "savings" 기법, Gaskell[9], Yellow[10]등에 의한 변형된 "savings" 기법,

Gillet and Miller[11]의 SWEEP 기법, Williams[12]의 proximity priority search 기법들을 들 수 있다. 이외에도 많은 발견적 기법들이 개발되었으며, 특히 최근에는 Fisher et al.[13]에 의해 분석자의 경험과 지식에 근거한 주관적 판단을 콤퓨터를 이용하여 VRP 기법에 결합시키는 이른바 "interactive computerized vehicle routing" 기법들이 소개되어 많은 관심을 끌고 있다.

여기서 흥미로운 사실은 지금까지 소개된 많은 발견적기법중 어느 하나도 모든 VRP 상황에서 다른 기법들에 비교하여 그 수행도가 절대적으로 뛰어나지는 않다는 것이다. 즉 새로운 발견적 기법이 소개될 때마다 선택된 기존의 기법들과의 수행도 평가를 통하여 그 기법의 우수성을 증명하고 있으나, 이것은 실험을 위해 선택된 문제들에 대해 한정된 것일 뿐이지 일반적인 모든 상황에서의 절대적 우월성은 단정될 수 없다는 것이다[16].

이상 언급된 VRP 기법들의 적용모델에서는 서비스 대상이 되는 고객들의 수요, 공급 그리고 고객위치간의 거리가 미리 확정적으로 알려져 있음을 가정하고 있다. Golden, Stewart & Yee[14, 15]는 실제 차량운영문제에서 고객의 수요나 공급이 환경의 동적변화에 기인하여 불확실성을 내포할 수 있다는 사실을 고려하여, 고객의 수요나 공급이 poisson, binominal, negative binominal & gamma 분포를 따른 확률적 상황에서 차량경로를 결정하는 새로운 이론을 소개하였다. 이 이론에서는 수송차량의 수송능력초과 확률에 대한 분석자의 주관적 허용률을 고려하여 정의된 차량의 가상 수용능력을 이용하여 Clarke and Wright[8]의 "savings" 기법을 적용하고 있다.

3. 클로우버 (Clover) 알고리듬

본 논문에서는 확정적 상황에서 AGV 스케쥴링을 위하여 본 저자들에 의해 개발된 "클로우버 알고리듬"이라는 새로운 발견적 기법을 소개한다. 이 알고리듬은 route first 기법으로 Clarke and Wright의 "savings" 기법[8]의 거리 개념과 Gillet and Miller의 SWEEP 기법[11]의 각도 개념을 기본으로 AGVS의 구조적 특성을 합리적으로 고려하고 있다.

클로우버 알고리듬은 depot로 부터 작업장내 가장 먼 직각거리에 위치해 있는 기계설비(지금 부터는 작업장내 배치되어 AGV로부터 서비스를 필요로 하는 기계설비를 "node"라 표현한다.)를 임시로 depot에 연결함으로써 feasible route 구성을 시작한다. Feasible route란 AGV 수용능력과 운행거리(또는 시간) 등의 주어진 제약조건을 만족하는 하나 이상의 node로 구성된 route를 의미한다. feasible route는 두개의 end를 갖게되며, end는 최근에 route에 포함되어 depot에 임시로 연결되어 있는 node이다. 따라서 feasible route 구성의 시작에서는 depot로 부터 가장 먼 직각거리에 위치한 node로 단지 한개의 end만을 갖게 된다.

현재의 feasible route에 연결되더라도 feasible route의 제약조건을 만족시킬 수 있는 node(feasible node)들 중에 각 feasible route end와 가장 가까운 직각거리에 위치한 node를 일시연결(pseudo-assign)한다. 일시연결과정에서 다음 2가지의 가능한 경우가 존재할 수 있다. 첫째, 한개의 node가 두 end에 공통으로 일시연결 대상이 될 때는 직각거리가 더 가까운 end가 선택되며, 다른 end는 다음으로 가까운 직각거리에 위치한 feasible node를 찾아 일시 연결한다. 만약 node로 부터 두 end까지의 직각거리가 같을 때는 대상 node를 임의로 한 end에 일시연결하고 다른 end는 다음으로 가까운 직각거리에 위치한 feasible node를 찾아 일시 연결한다. 둘째, 둘 이상의 node가 한 end에 일시연결 대상이 될 때는 임의로 한 node를 선택하여 일시연결한다. 알고리듬에서 이와 같이 end에 가까이 위치한 node를 우선적으로 route의 연결 대상으로 고려하는 것은 다음 node

를 서비스 하기 위해 이동해야 하는 거리(또는 시간)를 우선적으로 최소화 시키려는 의도에 근거하고 있다.

현재의 feasible route에 확정적으로 연결될 node는 양쪽 end(들)에 일시 연결되어 있는 1개 이상의 feasible node중에서 선택된다.

AGV의 구조적 특성에 비추어 deot로 부터 먼 직각거리에 위치하고 현재의 feasible route의 end에 각도(polar coordinate angle)상 근접해 있는 node를 선택하여 연결함을 기본원칙으로 한다. 이러한 기본 개념에 근거하여 개발된 RTC_i라는 함수를 일시연결된 모든 feasible node들에 대해 계산하여 그 중 최대치를 갖는 node를 일시연결된 end에 확정적으로 연결하도록 한다.

$$RTC_i = w \cdot \frac{d_i}{d_m} + (1-w)\ \left(1 - \frac{\theta_{ij}}{\pi}\right)$$

여기서 d_i : depot로부터 node i까지의 직각거리

d_m:depot로부터 가장 먼 곳에 위치한 node m까지의 직각거리

θ_{ij}:feasible route end j와 이에 일시 연결되어 있는 feasible node i와의 각도

w:shape parameter

함수 RTC_i에서 shape parameter w는 거리와 각도의 비중인자를 의미한다. 즉 w가 0에 가까워지면 node의 각도가 강조되어 SWEEP기법의 기본 개념과 유사하게 된다. 반면에 w가 1에 가까워지면 depot에서 node까지의 거리가 강조되어 결과적으로 이동거리에 대한 saving이 고려됨으로써 "savings"기법의 기본 개념과 유사하게 된다. 따라서 클로우버 알고리듬에서는 AGVS의 구조에 따라 w를 변화시킴으로써 간단히 거리와 각도의 두 인자를 trade-off할 수 있음을 특징으로 하고 있다. AGV 스케쥴링에서 최적 w값은 최소의 route수(소요 AGV 댓수)를 찾는 간단한 simulation을 통하여 결정될 수도 있다. 함수 RTC_i를 최대화함으로써 한 node가 feasible route의 end에 확정적으로 연결되면 나머지 일시연결된 feasible node들은 각각의 end로 부터 풀어진다. 이와 같은 RTC_i에 의한 route의 연결과정은 완성된 route들의 형상이 근접한 route와 쉽게 교차하지 않는 꽃잎모양(petal shape)을 따르도록 유도할 것이다.

한 node가 feasible route에 확정적으로 연결될 때마다 차량운행거리(또는 시간)와 수용능력의 제약조건에 대한 테스트를 수행한다. 차량운행거리의 증가치를 I라 하면 $I = d_{ij} + d_{io} - d_{jo}$이다. 여기서 d_{ij}는 node j와 이에 새로이 연결된 node i와의 직각거리 그리고 첨자 o는 depot를 의미한다. 차량수용능력은 새로 연결된 node의 서비스량(공급량)을 추가함으로써 간단히 계산된다.

그림 2는 제안된 클로우버 알고리듬의 flow chart를 나타내며, 단계별 과정은 다음과 같이 요약된다.

단계 1 : 서비스 대상 node들과 depot의 직각좌표를 확인한다.
(1) node들간의 각도(θ_{ij})를 계산한다.
(2) node들간의 직각거리표를 작성한다.

단계 2 : depot로 부터 가장 먼 곳에 위치한 feasible node를 depot에 임시 연결하여 최초의 feasible route를 구성한다. 만약 feasible node가 존재하지 않으면 단계 7로 간다.

단계 3 : 최초의 feasible route의 end로 부터 가장 가까운 직각거리에 위치한 두 개의 feasible node를 일시연결하고 단계 5로 간다. 만약 feasible node가 존재하지 않으면 단계 6으로 간다.

단계 4 : 새롭게 구성된 feasible route의 두 end에 각각 가장 가까운 직각거리에 위치한 feasible node를 일시연결한다. 만약 feasible node가 하나도 존재하지 않으면 단계 6으로 간다.

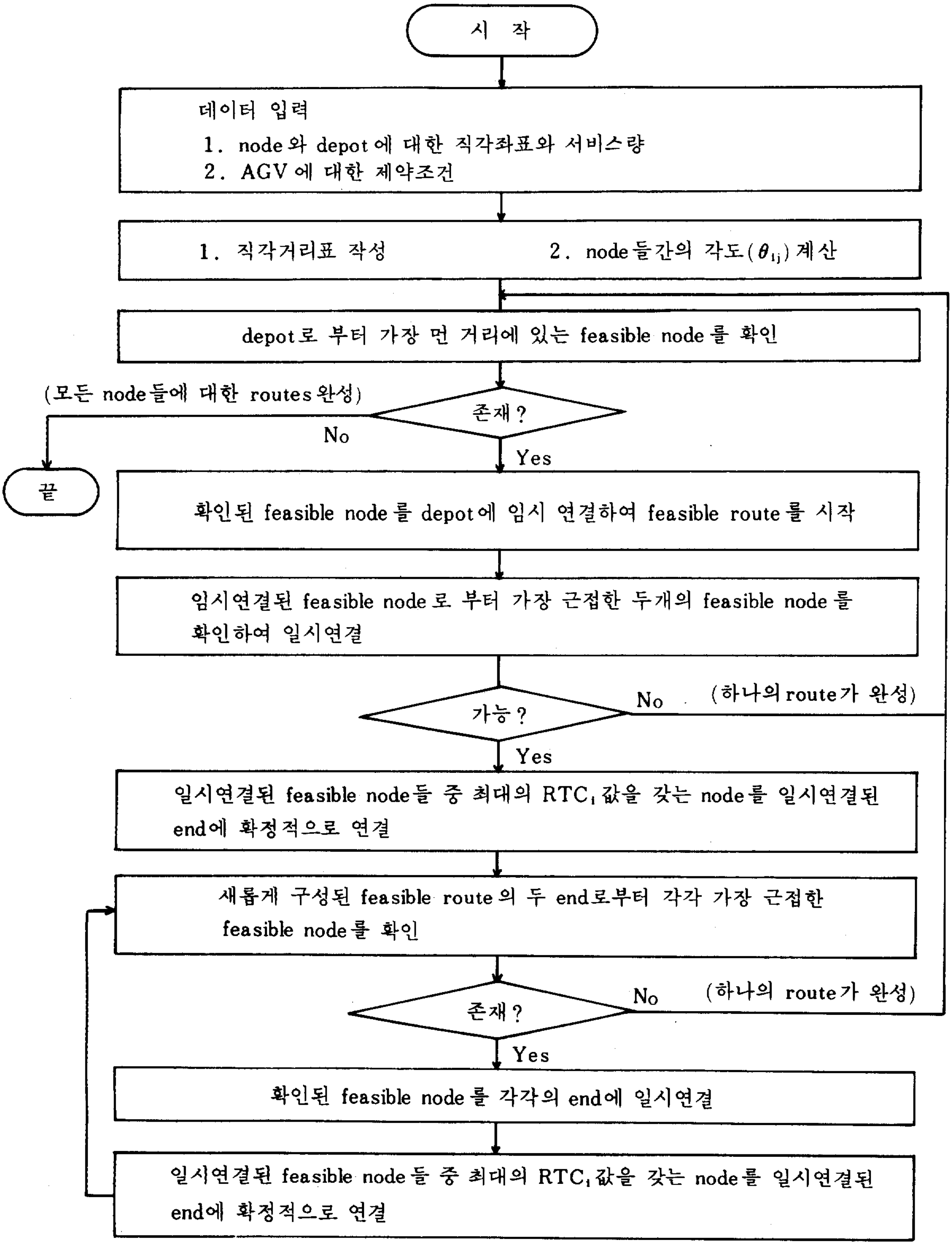

그림 2. 클로우버 알고리듬의 flowchart

단계 5 : 일시연결된 모든 feasible node 들에 대해 RTC_i 를 계산하여 최대치를 갖는 node 를 현재의 feasible route 의 end 에 확정적으로 연결한다. 단계 4 로 간다.

단계 6 : 하나의 route 가 완성된다. 새로운 feasible route 의 구성을 위해 단계 2 로 간다.

단계 7 : 모든 node 들에 대한 AGV 의 route 들이 완성된다.

4. 계산 실험

확정적 AGV 스케쥴링 문제에서 클로우버 알고리듬의 수행도를 분석하기 위하여 바둑판 형태의 격자 구조를 가진 다음의 세가지 사례에 적용하여 Clarke & Wright[8]의 savings 기법과 그 결과를 비교하였다. 확률적 AGV 스케쥴링 문제의 경우는 Golden & Yee[15]의 계산실험결과로 부터 본 논문에서 제안한 방법의 적용결과 정도를 유추할 수 있으므로 생략한다.

사례 1은 Gaskell[9]에서 사용된 것으로서 36개의 node 들이 가로 50m 세로 50m의 정방형 작업장에 10m간격으로 위치하여 있다. AGV 의 수용능력에 관한 제약조건은 없고, 운행거리는 200m로 제한되며, 각 node 에서 수거시 소요되는 시간을 거리로 환산한 allowance 는 10m이고, depot 는 모퉁이에 근접한 (12, 8)에 위치한다.

사례 2와 3의 경우는 저자들에 의해 새롭게 개발된 것으로 각각 54개와 72개의 node 들이 직방형 작업장에 10m 간격으로 위치하여 있으며, depot 는 사례 2의 경우 작업장의 바깥 모퉁이에 위치하고 사례 3의 경우 node 들의 중심에 위치한다. 두 경우 모두 allowance 는 10m이고 각 node 들로부터 수거량에는 random number 를 할당하였다. 사례 2의 경우 AGV 의 수용능력과 운행거리는 250kg 과 400m, 사례 3의 경우 300kg 과 400m로 제한한다.

AGVS 를 고려할 때 사례 1은 차량의 수용능력에 관한 제한이 없기 때문에 적합하지 않을 수 있으나, 다른 논문에서 다룬 바둑판 형태의 격자 구조를 가진 유일한 예이고 또한 Gaskell 이 제안한 알고리듬들과의 비교가 가능하므로 사용한다. Gaskell[9]에서와 같이 직선거리이동을 가정하여 사례 1에 적용할 때 그 논문에서 제안한 어떤 방법보다도 클로우버 알고리듬이 우수한 결과를 보여준다. 즉, 총운행거리에서 Clarke & Wright 의 방법에 의해 947m, Gaskell 의 saving:multiple 에 의해 923m, λ : multiple 에 의해 913m, π : multiple 에 의해 857m인데 대해 클로우버 알고리듬은 853m의 총 운행거리를 갖는다.

직각거리 이동을 가정하는 경우 클로우버 알고리듬과 savings 기법의 적용에 의한 결과를 비교하면 다음과 같다.

알고리듬 \ 사례	1	2	3
클로우버	988m, 5대	1520m, 4대	1740m, 5대
savings	1068m, 6대	1700m, 5대	1960m, 6대

각 사례에서 클로우버 알고리듬이 savings 기법보다 AGV 를 1대 적게 필요로 하고 있으며 총운행거리에서는 7.5%, 10.6%, 11.2% 가 각각 개선되었다. 두 가지 알고리듬을 본 사례들에 적용하여 구한 route 들을 분석하면, savings 기법은 어떤 route 안에 다른 route 가 포함되거나 또는 route 의 내부가 중복이 되는 경우를 많이 만드는 반면, 클로우버 알고리듬은 그런 경우가 적고 대개 클로우버 꽃잎 형태의 route 들을 형성 한다. 이는 클로우버 알고리듬에서 일단 각도를 무시하고 가장 멀리 떨어져 있는 node 로부터 시작하여 근접한

node 들을 연결하는 과정이 두 개의 node 들을 연결할 때 얻을 수 있는 savings 를 최대화할 수 있으며, 더우기 최종연결과정에서 각도를 고려함으로써 savings 기법에서는 기대할 수 없는 효과를 창출하기 때문이라 생각된다.

클로우버 알고리듬의 일시연결 과정에서 가장 가까운 거리에 위치한 단 하나의 node 만을 고려하지 않고 가장 근접한 k 개의 node 들을 모두 고려대상으로 하여 RTC_i 를 계산 최종적으로 연결할 node 를 선택하는 방법도 가능하다. 저자들의 실험과정을 통한 경험에 의하면 바둑판 형태의 격자 구조를 가진 AGV 스케쥴링 문제에서는 k = 1이 가장 적합하며, VRP 에서는 k = 1, 2, 3등의 몇가지 경우를 고려할 때 보다 나은 해를 구할 수 있었다. 또한 한 개의 node 가 두 end 에 공통으로 일시연결대상이 될 때 그 node 를 각 end 들에 모두 고려 대상으로 하는 경우 본 논문에서 제안한 방법보다 나은 결과를 얻을 수 없었다.

RTC_i 의 계산에는 w 를 0과 1 사이에서 소숫점 첫째자리 만을 변화시켜 위 결과를 도출하였으며, 본 사례에서는 w 를 더 세밀히 변화시키는 것이 큰 의미가 없었다. 또한 일반적으로 RTC_i 를 최대화하는 w 의 범위가 특별히 존재하지 않으므로 주어진 문제의 상황에 따라 w 가 취할 수 있는 모든 범위에서의 시행이 요구된다.

실험계산과정은 APL(A Programming Language) 프로그래밍을 하여 16 bit 퍼스널컴퓨터 (Televideo PC/XT & AT) 에서 시행하였으며, 대개의 경우 결과를 구하는 데 1분 정도를 초과하지 않으므로 계산에 소요되는 시간은 비교하지 않았다.

5. 확률적 AGV 스케쥴링 문제

기계설비의 생산량은 물자공급지연, 또는 작업자나 기계설비자체의 수행도 등과 관련한 작업상태의 변화에 따라 불확실하게 예상되는 경우가 존재할 수 있다. 이와 같이 AGVS 내에 배치해 있는 기계설비로 부터 반제품 또는 완제품의 공급량을 어느 특정한 확률분포로써 가정하는 확률적 상황에서의 AGV 스케쥴링을 위한 이론을 소개한다. 여기서 소개하는 이론은 Golden and Stewart[15]에 의해 제안된 이론에 근거를 두고 있으며, i 번째 기계설비의 공급량은 기대치 λ_i 와 분산 λ_i 를 갖는 poisson 분포를 갖고 기계설비들의 공급량은 상호 독립적이라 가정한다.

스케쥴링과정은 크게 두 단계로 이루어진다. 첫째, 기계설비들의 서비스과정에서 예상되는 AGV 수용능력의 초과에 대한 분석자의 주관적 허용률에 근거한 AGV 의 가상 수용능력 $\bar{\mu}$ 를 결정한다. 둘째, 각 기계설비의 공급량을 λ_i 그리고 AGV 수용능력 한계를 $\bar{\mu}$ 로 확정적으로 가정하고 확정적 AGV 스케쥴링을 위해 개발된 클로우버 알고리듬을 적용한다.

AGV 의 가상수용능력 $\bar{u}$ 는 다음의 이론에 근거하여 결정된다. 공급량이 각각 기대치 λ_i (i = 1, 2, …k,)인 poisson 분포를 따르는 k 대의 기계설비가 수용능력 c 인 AGV 에 의해 서비스 될 때, 한 route 의 총 공급량은 Central Limit Theorem 에 의해 다음의 기대치와 표준편차를 갖는 nomal 분포를 따른다고 가정할 수 있다.

$$\mu = \lambda_1 + \lambda_2 + \cdots + \lambda_k$$

$$\sigma = \sqrt{\mu}$$

만약 route 의 실제 공급량 x 가 수용능력 c 를 초과할 최대 확률을 α 라고 한다면 AGV 의 가상 수용능력 $\bar{u}$ 를 결정할 수 있다.

즉,

$$\text{Prob}\,(x \geqq c) = \text{Prob}\,\{z \geqq \frac{c-\mu}{\sqrt{\mu}}\} \leqq \alpha$$

위의 식에서 부등호를 등호로 대치하고 μ 대신 $\bar{\mu}$ 를 사용하여 풀면

$$\bar{\mu} = \{2c + z^2_{1-\alpha} - \sqrt{z^4_{1-\alpha} + 4cz^2_{1-\alpha}}\}\ ½$$

여기서 z 는 unit normal variate 이다.

제안된 두 단계를 거쳐 얻어진 AGV 경로

구성은 실제 AGVS 운영에 사용될 것이며, 공급량의 확률적 성격에 기인하여 계획된 route 서비가 완료되지 못한 상태로 AGV 가 depot 로 되돌아오는 경우는 route 의 나머지 기계설비들에 대한 서비스를 위해 추가운행이 필요하게 될 것이다. 공급량에 대한 가정은 poisson 분포 외에도, 기대값과 분산이 함수관계를 갖는 binominal 분포, 또는 gamma 분포의 가정도 가능하며, 이들 분포에 따른 AGV 가상 수용능력 결정식은 위에서 소개한 방법과 동일하게 간단히 유도될 수 있다[15]

6. 결 론

본 연구에서는 자동저장 창고 시스템을 갖고 있는 생산조직에서 확률적 공급량을 갖는 소작업장의 물품(반제품 또는 완성품)수거에 따른 AGV 스케쥴링 방법을 소개하였다. 과정은 크게 두 단계로 나누어진다. 첫째, 주어진 확률적 상황을, 예상되는 AGV 수용능력의 초과에 대한 분석자의 주관적 허용을 근거하여 산정된 AGV 의 가상수용능력을 이용하여 확정적 상황으로 변화시킨다. 둘째, 확정적 AGV 스케쥴링 문제를 위해 새로이 개발된 발견적 기법인 클로우버 알고리듬을 적용하여 AGV 의 최적경로를 결정한다.

클로우버 알고리듬은 거리와 각도의 개념을 기본으로 AGV 시스템의 구조적 특성을 합리적으로 고려하고 있다. 즉, routing 과정에서 AGV 시스템의 구조에 따라 간단히 거리와 각도의 두 인자를 trade-off 할 수 있도록 하여 완성된 route 들의 기본 형상이 근접한 route 와 쉽게 교차하지 않는 꽃잎모양을 따르게하고 있음을 특징으로 하고 있다. AGV 시스템의 구조형태를 달리하는 몇 가지 사례에 대한 간단한 계산 실험을 통하여 클로우버 알고리듬은 기존의 "savings" 기법에 비교하여 수행도가 탁월함이 증명되었다.

표 1. 사례 1 의 자료 : Depot (12, 8), 운행거리 최대허용치 200 m, Allowance 10 m

Node i	X_i	Y_i	Node i	X_i	Y_i	Node i	X_i	Y_i
1	0	0	13	0	20	25	0	40
2	10	0	14	10	20	26	10	40
3	20	0	15	20	20	27	20	40
4	30	0	16	30	20	28	30	40
5	40	0	17	40	20	29	40	40
6	50	0	18	50	20	30	50	40
7	0	10	19	0	30	31	0	50
8	10	10	20	10	30	32	10	50
9	20	10	21	20	30	33	20	50
10	30	10	22	30	30	34	30	50
11	40	10	23	40	30	35	40	50
12	50	10	24	50	30	36	50	50

표 2. 사례 2의 자료 : Depot (0, 0), 운행거리최대허용치 400 m, Allowance 10 m, 최대운반량 250 kg

Node i	X_i	Y_i	공급량	Node i	X_i	Y_i	공급량	Node i	X_i	Y_i	공급량
1	10	10	23	19	10	40	13	37	10	70	30
2	20	10	14	20	20	40	21	38	20	70	11
3	30	10	16	21	30	40	18	39	30	70	8
4	40	10	7	22	40	40	28	40	40	70	30
5	50	10	2	23	50	40	26	41	50	70	22
6	60	10	21	24	60	40	16	42	60	70	23
7	10	20	21	25	10	50	3	43	10	80	20
8	20	20	29	26	20	50	20	44	20	80	3
9	30	20	12	27	30	50	13	45	30	80	19
10	40	20	16	28	40	50	22	46	40	80	27
11	50	20	25	29	50	50	28	47	50	80	9
12	60	20	2	30	60	50	23	48	60	80	14
13	10	30	2	31	10	60	8	49	10	90	23
14	20	30	16	32	20	60	2	50	20	90	15
15	30	30	21	33	30	60	23	51	30	90	8
16	40	30	1	34	40	60	10	52	40	90	9
17	50	30	12	35	50	60	19	53	50	90	11
18	60	30	3	36	60	60	23	54	60	90	5

표 3. 사례 3의 자료 : Depot (60, 35), 운행거리 최대허용치 400 m, Allowance 10 m, 최대운반량 350 kg

Node i	X_i	Y_i	공급량	Node i	X_i	Y_i	공급량	Node i	X_i	Y_i	공급량
1	10	10	6	25	10	30	22	49	10	50	18
2	20	10	31	26	20	30	4	50	20	50	31
3	30	10	19	27	30	30	27	51	30	50	20
4	40	10	22	28	40	30	17	52	40	50	10
5	50	10	9	29	50	30	29	53	50	50	11
6	60	10	2	30	60	30	37	54	60	50	15
7	70	10	28	31	70	30	31	55	70	50	7
8	80	10	28	32	80	30	11	56	80	50	20
9	90	10	38	33	90	30	2	57	90	50	36
10	100	10	16	34	100	30	30	58	100	50	37
11	110	10	21	35	110	30	14	59	110	50	3
12	120	10	34	36	120	30	26	60	120	50	37
13	10	20	2	37	10	40	31	61	10	60	21
14	20	20	3	38	20	40	40	62	20	60	21
15	30	20	22	39	30	40	15	63	30	60	13
16	40	20	27	40	40	40	10	64	40	60	40
17	50	20	1	41	50	40	40	65	50	60	20
18	60	20	16	42	60	40	29	66	60	60	11
19	70	20	3	43	70	40	31	67	70	60	4
20	80	20	17	44	80	40	27	68	80	60	38
21	90	20	28	45	90	40	3	69	90	60	3
22	100	20	24	46	100	40	26	70	100	60	21
23	110	20	38	47	110	40	36	71	110	60	16
24	120	20	34	48	120	40	11	72	120	60	12

표4. 사례1의 결과

알고리듬	Route 번호	Route	운행거리(m)
클로우버 (w=0.5,0.6, …, 1)	1	0-29-35-36-30-0	200
	2	0-17-23-24-18-12-6-0	196
	3	0-15-21-27-33-34-28-22-16-0	200
	4	0-14-20-26-32-31-25-19-13-7-0	198
	5	0-8-9-10-11-5-4-3-2-1-0	194
			총 988
savings	1	0-24-30-36-35-0	200
	2	0-17-23-29-28-34-33-0	200
	3	0-19-25-31-32-26-27-21-0	194
	4	0-3-4-5-6-12-18-11-10-0	196
	5	0-8-14-15-16-22-20-13-7-0	188
	6	0-9-1-2-0	90
			총 1,068

표5. 사례2의 결과

알고리듬	Route 번호	Route	운행거리(m)	운반량(kg)
클로우버 (w=0,0.1, …,0.9)	1	0-29-35-41-47-53-54-48-42-36-30-0	400	177
	2	0-15-21-27-33-39-45-51-52-46-40-34-28-22-16-0	400	237
	3	0-7-13-19-25-31-37-43-49-50-44-38-32-26-20-14-8-0	380	237
	4	0-9-10-11-17-23-24-18-12-6-5-4-3-2-1-0	340	195
			총 1,520	
savings	1	0-24-30-36-42-48-54-53-47-41-35-0	400	165
	2	0-17-23-29-28-34-40-46-52-51-45-39-33-0	400	222
	3	0-10-16-22-21-27-26-32-38-44-50-49-43-37-31-0	400	208
	4	0-2-3-4-5-6-12-18-11-9-15-14-20-19-25-13-7-0	400	199
	5	0-1-8-0	100	52
			총 1,700	

표6. 사례3의 결과

알고리듬	Route 번호	Route	운행거리(m)	운반량(kg)
클로우버 (w=0,0.1)	1	0-17-6-18-19-20-21-22-23-24 -12-11-10-9-8-0	350	300
	2	0-67-55-43-44-45-46-47-59-71 -72-60-48-36-35-34-33-32-0	390	296
	3	0-39-38-37-25-26-27-28-16-15 -14-13-1-2-3-4-5-0	380	297
	4	0-42-54-53-65-64-63-62-61-49 -50-51-52-40-41-0	290	299
	5	0-66-68-69-70-58-57-56-31-30 29-7-0	330	291
			총 1,740	
savings	1	0-7-8-9-10-11-12-24-23-22 -21-33-45-59-69-0	400	300
	2	0-17-46-47-35-36-48-60-72-71 -70-58-57-56-55-0	380	300
	3	0-62-61-49-37-25-16-15-14-13 -1-2-3-4-5-0	400	254
	4	0-40-39-27-26-38-50-51-63-64 -52-53-65-66-67-68-19-0	400	297
	5	0-30-18-6-29-28-41-43-44-34 -20-32-31-0	330	288
	6	0-42-54-0	50	44
			총 1,960	

References

1. Tompkins, J. A. and white, J. A. Facilities Planning, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1984.
2. Rygh, O. B., "Succeeding with AS/RS Technology in the '80s", Journal of Industrial Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 56–63, 1980.
3. Christofides, N. Mingozzi, A. and Toth, P. , "The Vehicle Routing Problem," Combinatorial Optimization, Wiley, 1979.
4. Pierce, J., "Direct Search Algorithms for Truck Dispatching Problems, Part I," Transportation Research, Vol. 3, pp. 1–42, 1969.
5. Balinski, M. L. and Quandt, R. E., "On an Integer Program for a Delivery Problem," Operations Research, Vol. 12, pp. 300–304, 1964.
6. Foster, B. A. and Ryan, D. M. , "An Integer Programming Approach to the Vehicle Scheduling Problem," Operations Research Quarterly, Vol. 27, pp. 367–384, 1976.
7. Dantzig, G. P. and Ramser, J. H. , "The Truck Dispatching Problem," Management Science, Vol. 6, pp. 80–91, 1959.
8. Clarke, G. and Wright, J. , "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," Operations Research, Vol. 12, pp. 568–581, 1964.
9. Gaskell, T.J., "Bases for Vehicle Fleet Scheduling," Operational Research Quarterly, Vol. 18, pp. 281–295, 1967.
10. Yellow, P.C., "A Computational Modification to the Savings Method of Vehicle Scheduling," Operational Research Quarterly, Vol. 21, pp. 281–283, 1970.
11. Gillet, B. E. and Miller, L.R., "A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem," Operations Research, Vol. 22, pp.340–349, 1974.
12. Williams, B. W., "Vehicle Scheduling:Proximity Priority Searching," Journal of Operational Research Society , Vol. 33, pp. 961–966, 1982.
13. Fisher, M, L, "A Computerized Vehicle Routing Application," Interfaces, Vol. 12, pp. 42–52, 1982.
14. Golden, B.L. and Stewart, W., "Vehicle Routing with Probabilistic Demands," Proceedings of the Tenth Annual Symp. on the Interface of Computer Science and Statistics, Gaithersburg, Maryland, April, 1977.
15. Golden, B.L. and Yee, J.R., "A Framework for Probahilistic Vehicle Routing," AIIE Transactions, Vol. 11, pp. 109–112, 1979.
16. Park, Y. B. and Koelling, C.P., "A Solution of Vehicle Routing Problems in a Multiple Objective Environment", Engineering Costs and Production Economics, Vol. 18, pp. 121–132, 1986.