

# 물류망 설계 및 계획을 위한 컴퓨터 시뮬레이터의 개발†

박양병

경희대학교 산학협력기술연구원

## Development of a Logistics Network Simulator

Yang-Byung Park

Logistics network management has become one of the most important sources of competitive advantage regarding logistics cost and customer service in numerous business segments. Logistics network simulation is a powerful analysis method for designing and planning the logistics network optimally in an integrated way. This paper introduces a logistics network simulator, LONSIM, developed by author. LONSIM deploys a mix of simulation and optimization functions to model and analysis logistics network issues such as facility location, inventory policy, manufacturing policy, transportation mode, warehouse assignment, supplier assignment, order processing priority rule, and vehicle routes. LONSIM is built with AweSim 2.1 and Visual Basic 6.0, and executed in windows environment.

### 1. 서론

물류망(logistics network, logistics channel, supply chain)은 원자재(부품) 공급지, 공장, 중간거점(창고), 소비자 사이의 물품흐름과 관련된 모든 기능과 활동의 집합으로서, 흐름의 단계와 특성에 따라 다양한 형태로 나타난다. 따라서 물류망의 형태는 기업에 따라 다르며, 한 기업에서 여러 형태의 물류망이 존재할 수 있다. 기업에서 물류망의 운영은 조달, 생산, 수송, 저장, 판매, 재무, A/S 등 기업의 여러 기능들과 관계를 가지면서 비용과 고객서비스에 지대한 영향을 미치기 때문에 물류망의 최적 설계와 계획은 매우 중요한 의사결정문제로 인식되고 있다(Mourits and Evers, 1995). 예로서, <그림 1>은 3개의 공급지(suppliers), 2개의 지역창고(regional warehouses), 3개의 관리창고(field warehouses), 4개의 소비자(customers)로써 구성된 4단계 물류망을 보여준다.

미국의 식품판매협회가 출판한 연구보고서는 기존의 전형적인 식품 물류망의 설계와 운영을 개선함으로써 약 42일의 네트워크 소요기일을 단축하고, 연간 약 100억불의 물류비용을 절감하고, 약 41%의 재고를 감축할 수 있을 것으로 예측하였다(Sengupta and Turnbull, 1996). Ballou and Masters(1999)가 1998년 미국 내 209개 기업의 물류담당자를 대상으로 실시한 설문

조사에 의하면, 85%의 응답자가 물류망의 분석을 정기적으로 실시하고 있었으며, 이 중 약 86%가 의사결정지원시스템을 사용하고 있는 것으로 나타났다.

물류망 설계 및 계획은 원하는 고객 서비스수준을 최소의 비용으로 성취할 수 있도록 물류망을 설계하고 계획하는 것으로서, 창고의 수 및 위치, 고객 및 제품할당, 수송수단, 차량경로, 공급자, 재고정책, 고객서비스 수준 등을 결정하는 다양한 의사결정문제를 포함한다. 물류망 설계는 자원취득을 주요 내용으로 하는 장기 전략적(strategic) 수준의 의사결정문제, 그리고 물류망 계획은 자원할당과 자원일정계획을 주요 내용으로 하는 중·단기 전술적(tactical) 및 운영적(operational) 수준의 의사결정문제이다. 물류망 의사결정문제는 상호 지대한 영향을 미치기 때문에 최적 운영을 위해서는 반드시 시스템적 차

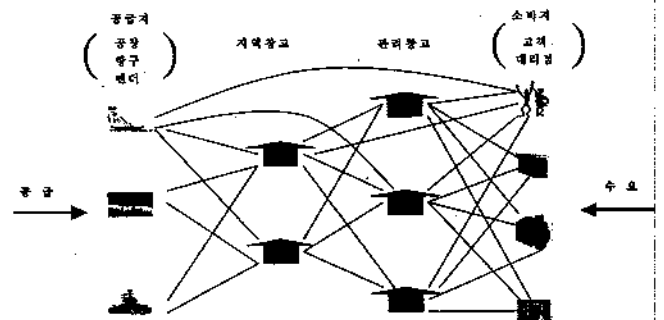


그림 1. 물류망의 예.

† 이 연구는 1999년 경희대학교 자원에 의한 결과임.

원에서 통합적으로 다루어져야 한다. 박양병(2000)의 논문에서 전략적, 기술적, 운영적 관리수준에 따른 물류망 의사결정의 특성과 문제 예가 자세히 정리되어 있다. 그리고 Ganeshan *et al.*(1999)에 물류망 의사결정문제를 다룬 주요 논문목록이 3가지 관리수준에 따라 잘 정리되어 있다.

물류망 설계 및 계획을 위한 의사결정문제는 상호 밀접한 관계를 유지하고 있을 뿐만 아니라 많은 확률적 요소가 존재하고, 또한 관련 비용들 사이에 복잡한 trade-off 분석과 여러 비계량적 요소들의 평가를 필요로 하기 때문에 통합적 차원에서 최적의 해를 구하기가 매우 어렵다. 만일 네트워크에서 단계, 시설, 고객, 제품종류의 수와 함께 관리변수(예; 수송수단)와 관리정책(예; 재고정책)의 가능한 대안 수가 증가하고 고객의 수요특성(예; 주문량 크기, 제품조합)이 다양해 지면 물류망은 매우 복잡하게 되어 수작업이나 직관에 의한 분석은 거의 불가능하게 된다. 최근 빠르게 변화하는 지리학적 수요패턴, 제품 수명주기의 단축, 새로운 물류기술의 발전, 조달·생산·판매의 세계화 등에 기인하여 기업에서 물류망의 재설계 및 계획이 더욱 짧은 주기로 요구됨에 따라 이에 대한 과학적 분석기술의 연구에 관심이 집중되고 있다(Leeuw *et al.*, 1999; Napolitano, 1997).

물류망은 그 특성상 네트워크로써 표현되고, 많은 확률적 성질을 가지는 활동들이 존재하고, 동적 환경에서 진행되고, 또 활동들이 상호 의존적 관계를 유지하고 있다는 사실에 비추어, 물류망 설계와 계획을 위해 시뮬레이션 기법의 적용이 매우 효과적이다. 분석대상 물류망의 시뮬레이션 모형을 구축하여 이를 이용하여 물류망 설계 및 계획의 다양한 대안들을 비교 평가하거나 또는 주요 변수 값들의 변화에 따른 물류망 성능의 민감도 분석을 수행하는 일은 물류관리자의 의사결정에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

지금까지 대부분의 시뮬레이션 연구는 전체 물류망을 대상으로 하는 분석보다는 주로 물류망의 어느 한 부분문제만을 다루었다. 이를테면, 분배계획, 재고관리, 주문처리규칙결정 등을 들 수 있다. 이러한 현상은 기업의 물류망 내에 존재하는 많은 요소들의 복잡한 상호관계와 각 요소들의 운영을 파악하여 전체 물류망을 시뮬레이션 모형으로 구축하는 데 따르는 어려움과 각 기업마다의 상이한 물류망 형태와 운영 때문인 것으로 판단된다.

본 논문에서는 저자가 개발한 물류망 설계 및 계획을 위한 prototype 시뮬레이터, LONSIM (LOGistics Network SIMulator; LONSIM)을 소개한다. LONSIM은 사용자와의 인터페이스를 통하여 물류망을 통합적으로 분석할 수 있도록 AweSim 2.1 시뮬레이션 언어(Pritsker *et al.*, 1997)와 Visual Basic 6.0 범용언어를 이용하여 구축되었다. 제1절에서의 서론에 이어, 제2절에서 물류망 분석을 위한 기존 시뮬레이터에 대한 조사를 정리한다. 그리고 제3절에서 LONSIM의 구조, 의사결정 입력변수, AweSim 모형, 사용자 인터페이스 등에 대해 서술한다. 끝으로, 결론 및 향후 연구과제가 제4절에 요약된다.

## 2. 기존 물류망 분석 시뮬레이터 조사

물류망 설계 및 계획을 위한 시뮬레이터 개발에 대한 연구는 최근에 미국과 독일의 몇몇 소프트웨어 개발회사를 중심으로 이루어지고 있다. 그러나 이들의 시뮬레이션 모형은 특정 기업을 대상으로 또는 실험용 및 상용으로 개발된 것으로서 대부분 공개가 되어 있지 않아 자세한 내용을 파악하기가 쉽지 않다. 잘 알려진 기존 물류망 시뮬레이터에 대한 문헌조사를 정리한다.

PIPELINE MANAGER(Ballou, 1999, 564-584)는 Andersen Consulting Associates가 개발한 물류망 설계 시뮬레이터이다. 이 시뮬레이터는 사용의 편의성과 범용성이 부족하고, 사용자의 주관적 판단을 반영할 수 없으며, 시뮬레이션 모형을 지나치게 단순화하여 분석의 신뢰도가 낮은 것이 문제점으로 지적되고 있다.

세계적인 통신장비 제조 회사인 Nokia 연구소는 LOGSIM (LOGistics SIMulator) (Hiera, 1998) 이름의 물류망 분석 시뮬레이터를 개발하였다. 이 시뮬레이터는 공급자-공장-고객의 3단계 물류망에서 제품구성(제품 및 서브 어셈블리 종류 수)과 재고정책(MRP 외)의 대안을 재고비용과 고객서비스 수준의 관점에서 평가하는 데 사용된다. LOGSIM은 이산형 사건위주 시뮬레이션 모형링 방법을 이용하여 ProModel 4.0과 Visual Basic 4.0으로써 구축되어 있다.

TASTE(The Advanced Studies of Transport in Europe)(Slats *et al.*, 1995; Mourits and Evers, 1995)는 Physical and Electronics Lab. of the Netherlands Organization for Applied Scientific Research에서 실험용으로 개발한 물류망 분석 시뮬레이터로서, Petri-nets를 토대로 한 실행 도구인 ExSpect로써 구축되어 있다. 이 시뮬레이터의 물류망 모형은 비교적 완전한 구조를 갖추고 있으며, 물류망 운영계획에 관한 여러 가지 대안들을 평가한다. 발주 및 주문 처리, 수요예측, 차량경로결정, 재고관리의 과정을 포함하며, 사용자는 안전계고 수준, 이동시간 등의 파라미터값을 명시할 수 있다. TASTE는 물류망 구조를 표현하는 데 많은 자료를 필요로 하기 때문에, 작은 규모의 물류망 문제에만 그 적용이 제한되고 있다. 게다가, 실제 시뮬레이터의 적용과정에서 물류망 구성요소 간의 상호관련성 설정이 어려운 것이 문제점으로 지적되고 있다. 얼마 후 TASTE는 최적화 및 휴리스틱 기법을 추가하여 DPSS(Distribution Planning Support System)(Mourits and Evers, 1995) 이름의 실험용 물류망 의사결정지원시스템으로 발전되었다.

DSS(Distribution Strategy Simulator)(Waller, 1995)는 Coopers & Lybrand Associates 중심의 국제 컨소시움에 의해 개발된 정적 시뮬레이터로서, 다양한 물류망 의사결정 대안의 평가에 사용된다. 상세한 비용계산 능력을 가지고 있어 수요의 제품조합과 지리학적 위치의 변화에 대한 분배예산계획(distribution budgeting) 수립에도 사용된다. 특히, 외주 배달의 경제성 평가와 고객/시장 서비스 전략대안(즉, 서비스지역 범위 및 배달빈도의

변경)의 평가에 효과적이다. 그러나 이 시뮬레이터는 물류망 운영의 동적 특성을 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다. DSS는 유사 자체개발(custom-built) 시스템이다. 사용자는 시스템이 제공하는 최대 24개의 데이터 파일(예: 수요파일, 수송경로파일, 제품파일 등)에 입력함으로써 원하는 물류망을 구축할 수 있다. 사용자는 시뮬레이터에 내장되어 있는 파일관리자 복사루틴(file manager copying routine)을 이용하여 회사의 수요 데이터베이스나 상업용 도로 데이터베이스를 시스템의 해당 데이터 파일에 복사할 수 있어 편리하다. 시뮬레이터의 결과 보고서는 총비용 및 세부비용, 고객 및 제품 그룹별 비용, 시설 이용률, 수송수단 이용률 등의 정보를 포함한다.

IBM Research는 SCS(Supply Chain Simulator)(Bagchi *et al.*, 1998) 이름의 물류망 시뮬레이터를 범용 비즈니스 프로세스 시뮬레이터인 SIMPROCESS(Swegles, 1997)를 토대로 개발하였다. 이 시뮬레이터는 물류망의 전략적 및 운영적 의사결정의 대안 평가, what-if 분석, trade-off 분석에 사용된다. 시뮬레이션의 결과로 조달기간, 평균재고, 총수입, 총비용, 자원이용률 등의 다양한 수행도 척도 값을 출력한다. SCS는 그래픽 프로세스 구축(모델링), 재고 및 공급 최적화, 이산형 사건위주 시뮬레이션과 애니메이션, 비용계산의 4가지 기능을 결합하고 있다. 재고 최적화는 주어진 서비스수준을 유지하면서 총비용을 최소화 하는 각 창고에서의 최대 재고수준과 안전재고 수준을 결정한다. SCS는 시뮬레이션 동안에 각 창고의 최대 재고수준과 안전재고 수준의 재 설정을 위해 주기적으로 갱신된 수요자료를 가지고 재고 최적화를 반복 실행한다. 다른 하나인 공급 최적화는 생산능력과 저장능력의 제약조건을 지키면서 공장과 창고에 대한 최적의 제품할당을 결정한다(분배계획). MRP 소프트웨어와의 연결도 가능하다. 공급 최적화는 항상 시뮬레이션이 시작되기 전에 실행되며, 구해진 해는 시뮬레이션에 반영된다.

SM2ILE(Simulation Model for Marketing and Integrated Logistics Environments)(Moynihan *et al.*, 1995)는 Alabama University의 IE Dept.에서 CLIPPER 5.01 데이터베이스 응용 프로그램 소프트웨어 패키지를 이용하여 개발한 물류망 what-if 분석을 위한 시뮬레이터이다. 사용자는 pop-up메뉴를 통하여 주문형태, 서비스수준, 판매비, 창고 및 물품 관련 데이터, 수송요금 등의 파라미터값의 변화에 따른 물품별, 판매지역별 비용과 이윤의 변화를 분석할 수 있다. SM2ILE는 별도의 각종 비용계산 서브루틴과 최적화 서브루틴을 보유하고 있으며, 총 12개의 관계형 데이터베이스에 비용, 고객주문, 고객(시장) 등의 자료를 저장한다. 최적화 서브루틴은 시뮬레이션이 실행되기 전에 주어진 고객 서비스수준(최대 주문리드타임) 제약 내에서 최적의 선적방법(분배채널, 선적물량, 수송수단)을 결정하는 기능을 수행한다.

이상 언급한 시뮬레이터 외에도 NETWORK(OR & OM Dept., Case Western Reserve University), LSD(Ronen, 1998), LOCATE4 (Cleveland Consulting Associates), LREPS(Graduate School of Business

Administration, Michigan State University), OPTISITE (Micro Analytics) 등이 있다.

### 3. LONSIM

#### 3.1 개요

LONSIM(Logistics Network Simulator)은 저자가 개발한 물류망 설계와 계획을 위한 prototype 시뮬레이터로서, 대안분석, trade-off 분석, what-if 분석(예: 수송수단 변경에 따른 배달지연율의 변화, 재고정책의 변화에 따른 창고비의 변화 등)을 통하여 물류망 운영에 따른 비용, 고객서비스수준, 시설 이용률, 고객주문 리드타임 등을 평가하는 데 사용된다. 총비용은 생산비, 창고비, 수송비로 구성되어 있다. LONSIM은 부품공급자-공장 및 부속창고-관리창고-지역창고-고객으로 구성된 최대 5 단계의 물류망을 대상으로 하며, 시설은 최대 30개, 고객지점은 최대 100개, 제품그룹은 최대 5개까지 설정할 수 있다. 이러한 제한은 LONSIM 시뮬레이션 모형의 처리능력 확장에 의해 늘릴 수 있다.

LONSIM의 시뮬레이션 모형은 Pritsker 회사에서 개발한 AweSim 2.1 '윈도우용 시뮬레이션 언어로 프로그래밍되어 있다. 시뮬레이션 모형은 기본적으로 AweSim 네트워크 모형으로 구축되어 있으며, 모든 user-written 서브 프로그램은 Visual Basic 6.0으로 프로그래밍되어 있다. LONSIM은 시뮬레이션에 앞서 입력 창과 pop-up 메뉴를 통하여 사용자로부터 물류망 구조와 물류망 설계 및 운영계획과 관련한 입력을 필요로 하며, 사용자는 원하는 경우 의사결정지원시스템(decision support system; DSS)의 도움을 받을 수 있다. 사용자는 DSS가 제시해 준 해를 임의로 수정할 수 있다. 모든 입력이 완료되면 LONSIM은 시뮬레이션 모형을 실행하여 물류망을 평가한다. 모든 DSS는 Visual Basic 6.0으로 프로그래밍 되어 있다. 분석결과와 그래픽 출력을 위해 Excel 소프트웨어가 출력 데이터베이스와 연결된다.

LONSIM은 그래픽, 색, 메뉴를 이용하여 사용자의 편의성을 높이며, 요약보고서 및 항목별 세부보고서 출력기능을 보유하며, 여러 형태의 물류망을 다룰 수 있는 유연성을 가지며, 완전하지는 않지만 시뮬레이션을 이용한 피드백 메커니즘을 통하여 3단계 관리수준의 의사결정문제를 통합적으로 다루며, 물류망 구성요소들의 활동과 상호관계를 가능한 한 사실적으로 표현하며, 그리고 다양한 운영정책 대안을 포함하고 있다.

특히 LONSIM은 일부 의사결정문제의 DSS 실행을 위한 파라미터 입력시 사용자에게 이전 시뮬레이션 실행과정에서 분석된 정보를 제시해 줌으로써 사용자가 이를 참고할 수 있게 해준다(시뮬레이션 피드백 메커니즘). 이러한 능력은 DSS를 통해 구해진 해나 물류망 평가의 신뢰도를 높이는 효과가 있다.

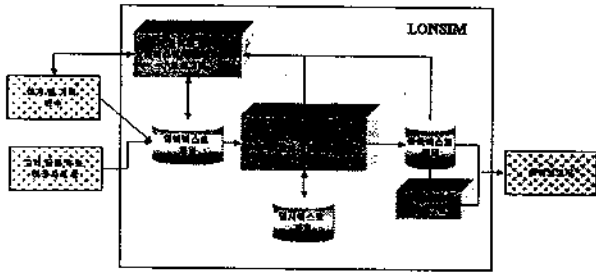


그림 2. LONSIM의 구조.

예를 들면, 관리창고에서의 1회 주문량과 재 주문점 결정을 위한 DSS의 실행단계에서 LONSIM은 이전 시뮬레이션 과정에서 구해진 지역창고로부터의 평균 수요와 공장으로부터의 평균 재고보충 리드타임 값을 사용자에게 제시해 준다. 또 시뮬레이션 모형의 실행단계에서 LONSIM은 이전 시뮬레이션 종료 시점에서의 창고 재고수준을 사용자에게 제시해 준다. 이 값은 창고의 초기 재고수준으로 사용될 수 있다. 따라서 평균가의 신뢰도를 높이기 위해서는 LONSIM의 반복실행이 권장된다.

사용자는 LONSIM이 제공하는 입력 창을 통하여 모든 자료를 입력하고, 사용자와 시스템 간의 모든 인터페이스는 Visual Basic 환경에서 이루어진다. 이것은 사용자가 Visual Basic의 윈도우 환경에서 LONSIM 실행에 필요한 모든 입력 작업을 편리하게 수행할 수 있게 해 주고 또 실행결과를 볼 수 있게 해 주기 위해서이다. LONSIM의 모든 분석작업은 Visual Basic 화면의 background에서 이루어진다. LONSIM의 구조가 <그림 2>에 나타나 있다.

3.2 의사결정 입력변수

LONSIM은 시뮬레이션 실행에 앞서 공장 및 창고입지, 재고정책, 생산정책, 주문창고, 부품공급업체, 주문처리 우선순위, 수송수단, 배송차량경로 등 총 8가지의 물류망 설계 및 운영계획 변수의 입력을 필요로 한다. 이 중에서 시설입지, 재고정책, 생산정책, 배송차량경로에 대해서는 사용자가 원하는 경우 내장되어 있는 최적화 또는 휴리스틱 모형, 즉 DSS를 실행하여 해를 구해 준다. LONSIM에서 8가지 변수들의 입력과 DSS 사용 방법에 대해서는 3.4절에 설명되어 있다.

① 시설입지

LONSIM 사용자는 현재의 물류망에 새로운 시설(창고 또는 공장)을 추가하거나 기존 시설의 위치를 변경 또는 삭제할 수 있다. 시설의 입지는 물류망에서 생산비(공장의 경우), 창고비(창고의 경우), 수송비, 분배계획, 고객 서비스 등에 지대한 영향을 미치는 중요한 물류망 설계변수이다. 사용자는 입지의 x, y좌표 값을 직접 입력할 수 있으며, 원하는 경우에는 LONSIM이 제공하는 입지 최적화 프로그램(DSS)을 실행하여 최적의 시

설입지를 조언 받을 수 있다.

입지 최적화 프로그램은 사용자가 입력한 지점간 단위거리 당 수송비와 단위기간 동안 물동량 자료를 이용하여 '직선거리 제곱 단일시설 최적 입지결정' 알고리즘을 실행한 결과값을 제시해 준다. LONSIM에서 직선거리 제곱을 가정한 입지결정 알고리즘을 사용한 이유는 노드간 거리가 물류비에 비선형(지수 함수적)으로 영향을 미치도록 하기 위함이었다. 시설의 최적 위치( $x^*, y^*$ )는 다음 식에 의해 구해진다.

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^m w_i a_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad y^* = \frac{\sum_{i=1}^m w_i b_i}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (1)$$

여기서  $w_i$ 는 새로운 시설과 기존시설  $i$ 간의 단위기간 동안 총물동량과 단위거리 당 수송비용의 곱,  $a_i$ 는 기존시설의  $x$ 좌표,  $b_i$ 는 기존시설  $i$ 의  $y$ 좌표, 그리고  $m$ 은 기존시설의 수를 나타낸다.

LONSIM은 시뮬레이션이 진행되는 동안에 시설 간에 발생한 물동량의 갱신된 자료를 매번 수집하여 외부 파일에 저장해 두었다가 이후 시뮬레이션에서 입지 최적화 프로그램 실행시 화면에 보여 주기 때문에, 사용자는 시설의 입지 개선(변경)을 위해 최적화 프로그램을 실행할 때 출력된 자료를 대상 시설과 기존시설 간의 물동량 입력에 참고할 수 있다(시뮬레이션 피드백 메커니즘). 따라서 새로운 시설 또는 기존의 한 시설에 대해 입지 최적화 프로그램을 매 시뮬레이션 마다 반복 적용함으로써 대상 시설의 입지는 최적에 수렴하게 된다. 최초의 LONSIM 실행시 입지 최적화 프로그램의 실행을 원하면 수송비와 물동량 자료를 사용자가 직접 입력하여야 한다.

② 재고정책

창고에서의 재고정책은 창고비, 재고유지비, 수송비, 고객 주문 리드타임, 고객서비스, 창고관리에 중요한 영향을 미친다. LONSIM은 정량발주(Q-system)와 정기발주(P-system) 재고정책을 포함하며, 사용자는 각 창고에 대해 이 중 한 가지 정책을 선택할 수 있다. 정량발주정책은 창고에서 제품의 재고수준이 재 주문점 이하가 되면 주문량의 크기에 따라 상위단계의 창고나 공장창고에 일정한 양을 주문하는 방식이며, 정기발주정책은 창고에서 일정한 주기마다 최대 재고수준과 현재 재고수준과의 차이 만큼을 주문하는 방식이다. 사용자는 재고정책의 선택과 함께 파라미터값을 입력하여야 한다. 정량발주정책의 경우에는 주문량과 재 주문점, 그리고 정기발주정책의 경우에는 발주주기와 최대 재고수준을 입력하여야 한다.

LONSIM은 재고정책 파라미터의 사용자 입력을 돕기 위한 재고정책 최적화 프로그램(DSS)을 내장하고 있다. LONSIM은 시뮬레이션 과정에서 각 창고에서의 평균 수요와 표준편차, 조달기간 평균과 표준편차, 서비스수준, 발주회수, 미납주문 등의 자료를 수집하여 이들을 OUTPUT 함수프로그램에서 외부

텍스트 파일에 저장해 두기 때문에, 다음 시뮬레이션에서 사용자가 재고정책 최적화 프로그램을 실행할 때 이 파일에 저장되어 있는 자료를 참고하여 필요한 입력을 수행할 수 있다. LONSIM은 사용자가 입력한 자료와 'cost.txt' 파일에 저장되어 있는 재고관리 비용자료를 이용하여 해당 재고정책의 최적 파라미터값을 구해 제시해 준다. 두 가지 재고정책의 최적 파라미터값 결정은 Ballou(1999, 322-340)에 소개되어 있는 식을 이용한다. 최초의 LONSIM 실행시 재고정책 최적화 프로그램의 실행을 원하면 수요, 조달기간 등의 자료를 사용자가 직접 입력하여야 한다.

재고관리비, 주문량, 주문주기, 안전재고 등의 통계자료는 각 창고 별로 임시 외부 텍스트 파일에 저장되어 OUTPUT 함수 프로그램에서 세부 보고서 작성에 사용된다.

### ③ 생산정책

사용자는 공장에서의 생산정책으로서 정량생산방식과 정기생산방식 중에서 한 가지를 선택할 수 있다. 정량생산은 공장창고에서 제품의 재고수준이 재 주문점 이하가 되면 공장에서 일정한 양을 생산하여 보충하는 방식이며, 정기생산은 공장에서 일정한 주기마다 최대 재고수준과 현 재고수준과의 차이 만큼을 생산하여 보충하는 방식이다. 정량생산방식에서 1회 생산량과 재 주문점 그리고 정기생산방식에서 생산주기와 최대재고수준의 입력시 사용자가 원하는 경우 재고정책 입력에서 사용하는 재고정책 최적화 프로그램과 유사한 생산정책 최적화 프로그램(DSS)의 지원을 받을 수 있다. 두 최적화 프로그램의 사용방법은 동일하다. 생산비, 생산량, 생산주기 등의 통계자료는 각 공장 별로 임시 외부 텍스트 파일에 저장되어 OUTPUT 함수프로그램에서 보고서 작성에 사용된다.

### ④ 주문창고

고객 및 창고가 물품을 조달 받고자 할 때 주문창고를 결정해야 한다. LONSIM의 사용자는 지정과 거리기준의 두 가지 방법 중 하나를 선택할 수 있다. 지정방법은 사용자가 각 고객 및 창고의 주문을 위해 바로 위 단계의 창고를 미리 지정해 주는 것이다. 거리기준방법은 각 고객 및 창고의 주문을 가장 가까운 거리의 바로 위 단계의 창고에 할당하며, 만일 해당 창고에서 재고가 부족한 경우에는 그 다음으로 가까운 거리의 바로 위 단계 창고에 주문을 할당하는 것이다. 만일 바로 위 단계의 모든 창고에서 재고가 부족한 경우에는 맨 처음 할당이 고려되었던 가장 가까운 거리의 창고에 주문을 할당하고 재고가 보충될 때까지 기다리게 한다. 단 정해진 크기를 초과한 주문의 경우는 두 방법 모두 공장창고를 고려한다. 추후 LONSIM을 보강하기 위해 분산 소싱(split sourcing) 허용하는 분배계획 최적화 프로그램(DSS)과 기능을 추가할 수 있다. 사용자는 분배계획 최적화 프로그램 실행 결과를 참고로 여러 주문창고의 주문량 분배 비율을 입력할 수 있을 것이다.

### ⑤ 부품공급업체

사용자는 각 공장에 대한 부품공급업체를 결정하는 방법으로서 지정과 거리기준 중에서 한 가지를 선택할 수 있다. 거리기준방법은 공장에서 가장 가까운 거리의 부품 공급업체를 할당하며, 지정방법은 사용자가 공장에 대한 부품공급업체를 미리 지정하는 것이다. 부품구매에 따라 주문비, 수송비, 공장에서의 하역비가 발생하며, 이 중에서 수송비는 결정된 부품공급업체의 위치에 따라 달라진다.

### ⑥ 주문처리 우선순위

사용자는 창고에서의 주문처리 우선순위 결정규칙으로서 FIFO(first-in, first-out)와 EUT (earliest upper limit of time window) 규칙 중 한 가지를 선택할 수 있다. EUT 규칙은 서비스 시간대 상한 값이 작은 주문 순서에 따라 처리하는 것이다. 주문의 서비스 시간대 상한은 주문발생 시각에 사용자가 입력한 일양분포 변수값을 더하여 정해진다. 주문처리 우선순위 규칙은 주문리드타임에 영향을 미치며, 고객에 대한 납기준수가 중요한 경우는 EUT 규칙을 선택하는 것이 바람직할 것이다. 품질 등의 통계자료는 각 창고 별로 임시 외부 텍스트 파일에 저장되어 OUTPUT 함수프로그램에서 세부 보고서 작성에 사용된다.

### ⑦ 수송수단

사용자는 공장 및 창고로부터 물품수송을 위해 트럭, 기차, 선박, 항공의 4가지 수단 중 하나를 선택할 수 있다. 수송수단에 따라 수송단가와 지점간 이동거리가 달라진다. 지점간 수송비와 이동거리 계산방법은 3.3절의 가정에 설명되어 있다. 수송비, 수송량 등의 통계자료는 각 창고 별로 임시 외부 텍스트 파일에 저장되어 OUTPUT 함수프로그램에서 세부 보고서 작성에 사용된다.

### ⑧ 배송차량경로

지역창고에서는 매일 고객에게 물품을 배달해 주기 위한 배송차량의 경로계획이 필요하다. 고객의 soft 서비스 시간대가 주어진 상황에서 차량이동시간(거리), 배달시간대 총위반시간, 그리고 차량소요대수를 최소로 하는 차량경로를 구하는 일은 물류비와 고객서비스 차원에서 매우 중요하다. LONSIM은 배송차량 경로결정 휴리스틱 프로그램(DSS)을 내장하고 있으며, 시뮬레이션 동안 지역창고에서 배송이 발생할 때마다 이 휴리스틱 프로그램을 실행하여 구해진 차량경로를 적용한다. 사용자가 원하는 경우 LONSIM은 매번 또는 정해진 시점에 구해진 차량경로를 사용자에게 보여주고 입력 창을 통한 직접 수정을 허용한다. 휴리스틱 프로그램의 실행에 의해 구해지는 수송비, 차량대수, 주문리드타임, 서비스시간대 위반시간 등의 통계자료는 각 관리창고 별로 임시 외부 텍스트 파일에 저장되어 OUTPUT 함수프로그램에서 세부 보고서 작성에 사용된다. 휴리스틱 프로그램은 Clarke and Wright's savings 기법(1964)과 Space time 기법(Balakrishnan, 1993)을 포함하며, 사용자는 시

물레이션 전에 이 중에서 한가지 기법을 선택한다. 이 기법들은 고객 지점간 이동거리와 고객의 서비스 물량이 확정적으로 알려진 상황에서 차량의 총 이동거리를 최소화하는 경로를 결정해 주는 대표적인 탐색적 기법으로서, 해를 구하는 과정이 아주 빠르고 간단하면서도 상당히 좋은 해를 구해 주는 특성에 의해 실제 배차계획에서 널리 활용되고 있다. LONSIM은 어느 정도의 벌칙(penalty)을 감수하면서 위반할 수 있는 soft 서비스 시간대의 가정 하에 총 차량이동거리(시간)의 최소화와 배달 시간대 상한 총 위반시간의 최소화를 배차계획의 복수 목적함수로서 설정하고 있기 때문에, 두 기법의 루트구축 과정에서 사용하는 원래의 계산 식을 다음과 같이 각각 약간씩 변형하였다.

먼저, Clarke and Wright's savings 기법에서 연결 가능한 두 루트에 대한 saving은 두 루트를 연결함으로써 기대되는 이동시간과 서비스 시간대 상한 위반시간의 saving을 각각 가중치를 반영하여 합한 값이며, 계산식이 식 (2)에 정리되어 있다. 그리고 space time 기법에서 연결 가능한 지점들에 대한  $SP(k)$  계산식은 두 목적함수와 가중치를 고려하여 식 (3)과 같이 정리된다. 루트구축 과정에서 가장 작은  $SP(k)$  값을 갖는 지점을 다음 방문고객으로 연결한다.

$$S_{ij} = w_1(t_{i0} + t_{0j} - t_{ij}) + w_2 \sum_{i \in A_i} [\text{Max}(0, a_i - L_i) - \text{Max}(0, a_i' - L_i)] \quad (2)$$

$$SP(k) = w_1 t_{jk} + w_2 [a_j - (E_k + L_k)/2] \quad (3)$$

여기서  $w_1$ 는 총 차량이동시간 목적의 가중치,  $w_2$ 는 서비스 시간대 상한 총 위반시간 목적의 가중치( $w_1 + w_2 = 1$ ),  $t_{ij}$ 는 고객 지점  $i$ 로부터  $j$ 까지의 이동시간,  $a_i$ 는 고객지점  $i$ 에 차량 도착(서비스 시작)시각,  $a_i'$ 는 두 루트가 결합될 때 지점  $i$ 에 차량 도착시각,  $E_i$ 와  $L_i$ 는 각각 고객지점  $i$ 의 서비스 시간대 하한과 상한, 그리고  $A_i$ 는 두 루트가 결합될 때 경로상  $j$ 를 포함한  $j$  이후 고객지점들의 집합을 의미한다.

### 3.3 AweSim 시뮬레이션 모형

LONSIM은 시뮬레이션 모형을 구축하는데 있어 여러 가정을 적용하고 있으며, 주요 가정 몇 가지를 아래에 정리한다.

- (1) 각 창고에서는 하루 동안의 주문을 모아 다음 날 0.2일 시각에 우선순위규칙에 따라 처리한다.
- (2) 고객주문의 시간간격은 지수분포를, 그리고 주문량은 일양분포를 따른다.
- (3) 창고와 고객들에 대한 주문은 단일 공급창고에 의해 모두 처리된다(single sourcing).
- (4) 수송수단에 따른 지점간 이동거리는 아래 식(Ballou, 1999, 558-559)에 의해 추정한다.

$$\text{도로} = \text{지점간 직선거리} * 1.21$$

$$\text{철도} = \text{지점간 직선거리} * 1.24$$

$$\text{공로} = \text{지점간 직선거리} * 1.10$$

- (5) 수송수단에 따른 지점간 수송비는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\text{창고간 수송비} = \text{수송량} * \text{창고간 이동거리} * \text{수송수단별 수송단가(트럭: km · 대, 철도: km · 제품단위, 항공: km · 제품단위)}$$

$$\text{창고와 고객간 수송비} = \text{총이동거리} * \text{트럭 수송단가(km · 대)}$$

- (6) 창고비는 고정비, 보관비, 선적 및 하역비, 주문처리비의 합으로 결정되며, 각 비용은 다음 식에 의해 계산된다.

$$\text{고정비} = \text{일일 고정비} * \text{운영일수}$$

$$\text{보관비} = \text{일일 보관비} * \text{저장점유공간(m}^3\text{)} * \text{보관일수}$$

$$\text{선적(하역)비} = \text{선적(하역)비/회} \cdot \text{m}^3 * \text{선적(하역)회수} * \text{취급화물크기(m}^3\text{)}$$

$$\text{주문처리비} = \text{일회 주문처리비} * \text{주문처리회수}$$

- (7) 공장에서의 제품 생산단가는 상이하며 생산량에 비례한다. 원자재(부품) 구매비는 생산단가에 포함된다.

시뮬레이션 모형은 AweSim 네트워크 모형을 기본으로, 필요할 때 마다 INTLC, OUTPUT, USERF, EVENT user-written 서브 프로그램 및 외부 입 · 출력 텍스트 파일 또는 사용자와 직접 연결을 꾀한다. AweSim 시뮬레이션 모형은 시뮬레이션 동안에 사용자와의 직접 인터페이스를 위해 INTLC와 OUTPUT 함수프로그램에서 INPUT과 PRINT문을 이용하기도 하지만, 대부분 외부 입 · 출력 텍스트 파일을 통하여 데이터 이송을 구현한다. 따라서 시뮬레이션 모형이 실행되기 전에 화면 창을 통해 사용자로부터 입력된 자료를 외부 파일에 저장하는 입력 프로그램이 준비되어야 한다. 시뮬레이션 과정에서 자료의 수집은 네트워크 모형과 여러 EVENT 서브루틴에서 이루어지며, 자료의 저장을 위해 ATRIB, LTRIB, STRIB, XX, LL 등의 AweSim 변수와 많은 사용자 정의 변수를 사용한다.

INTLC 함수프로그램은 외부 텍스트 파일에 저장되어 있는 사용자 입력을 네트워크 모형에 이송함으로써 시뮬레이션 모형을 초기화한다. 즉, 입력 창에서 사용자가 입력한 자료는 외부 텍스트 파일에 저장되어 있다가 INTLC 프로그램의 실행에 의해 AweSim 모형으로 이송된다. 구체적으로, INTLC 함수에서 고객, 창고, 공장, 부품공급업체의 수와 위치, 고객주문의 내용, 창고의 초기 재고량과 재고정책, 주문창고 선정방법, 주문처리 우선순위규칙, 수송수단, 공장의 생산정책, 부품공급업체 선정방법 등의 초기값이 설정된다.

AweSim 네트워크 모형은 자료 입 · 출력을 위한 READ와 WRITE 노드, 고객주문 발생을 위한 CREATE 노드, 창고에서 주문대기를 위한 AWAIT 노드, EVENT 노드 등 다수의 네트워크 노드와 활동을 포함한다. 네트워크 모형은 주요 기능별로 고객주문발생, 창고의 주문처리 및 정량발주 재고관리, 정기발주 재고관리, 공장의 정량 및 정기생산, 부품구매, 배송의 총

6개 서브 네트워크로 구성된다.

네트워크 모형에서 EVENT 노드에 개체가 도착할 때마다 해당 사건 서브루틴이 실행된다. 총 16개의 사건 서브루틴이 존재하며, 이들은 공급창고 및 공급처 선정(1), 지역창고에서 주문처리 및 정량발주 재고관리(2), 관리창고에서 주문처리 및 정량발주 재고관리(3), 공장창고에서 주문처리 및 정량발주 재고관리(4), 배송(5), 지역창고로의 수송(6), 관리창고로의 수송(7), 정기생산(8), 정기발주 재고관리(9), 배송차량경로 파일 열기(10), 배송차량경로 파일 닫기(11), 배송차량 경로계획 프로그램 실행(12), 정기생산 종료(13), 정량생산(14), 정량생산 종료(15), 고객 주문량 및 서비스시간대 결정(16) 등의 작업을 수행한다. 여기서 괄호 속의 숫자는 서브루틴의 번호를 의미한다.

OUTPUT 함수프로그램은 LONSIM에서 출력하고자 하는 통계자료를 수집 또는 계산하여 형식에 맞추어 총 7개의 외부 텍스트 파일에 저장한다. 이 중 하나(LONSIM.s01)는 AweSim Summary Report 통계자료를, 그리고 나머지 6개(\*\*\*.txt)는 LONSIM이 별도로 계산한 각종 통계자료를 저장한다. AweSim이 자체적으로 계산한 파일통계, 활동통계, 자원통계, 시스템 변수 통계 등은 각각 해당 AweSim 변수를 이용하여 'LONSIM.s01'에 저장한다. LONSIM이 별도로 계산하는 통계자료로는 각 창고에서의 평균 재고 및 품질, 고객주문의 평균 리드타임, 서비스시간대 준수율, 배송관련자료, 그리고 각종 비용계산 결과를 포함한다.

<그림 3>은 INTLC 함수프로그램에서 외부파일 'sumnode.txt'로부터 자료를 이송 받아 AweSim 변수 VS.XX(·)에 할당하는 내용과 OUTPUT 함수프로그램에서 고객주문의 평균 리드타

```

Public Function INTLC(Run As Long) As Long
.
INTLC = true
Open "c:\projects\logistic\data\pdata\sumnode.txt" For Input As #76
Input #76, NOPW, NORW, NOFW, NOCU
VS.XX(102) = NOPW
VS.XX(103) = NORW
.
Close #76
End Function

Public Function OTPUT(Run As Long) As Long
.
Open "c:\projects\logistic\data\pdata\summary.txt" For output As #105
Print #105, "1 to 2", " ", Format(Str(Format(LEADTIME(2)/SUMTIME) * 100, "###.00")), "@@@@@", " ", Format(Str(Format(CUMTIME(2), "###.00")), "@@@@@" )
.
Close #105
End Function

```

그림 3. INTLC와 OUTPUT 함수프로그램에서 외부 입·출력 파일간의 데이터 이송 프로그램 일부.

입을 계산하여 외부파일 'summary.txt'에 저장하는 내용을 발췌 보여준다.

### 3.4 사용자와 LONSIM의 인터페이스

LONSIM은 AweSim 시뮬레이션 모형의 실행을 위해 사용자로부터 입력을 필요로 하기 때문에, 사용자와 LONSIM의 인터페이스는 필수적이다. LONSIM에서 사용자와의 모든 인터페이스는 Visual Basic 윈도우 환경에서 이루어지며, 사용자는 윈도우 환경에서 편리하게 LONSIM 실행에 필요한 모든 입력작업을 완료하고 그 결과를 볼 수 있게 된다. 결국, LONSIM의 모든 시뮬레이션 작업은 Visual Basic 화면의 background에서 이루어지며, 사용자는 시뮬레이션으로부터 완전히 자유롭게 된다. 사용자는 AweSim에 대한 전문지식이 전혀 필요하지 않으며, 단지 윈도우 환경에서 단순한 메뉴선택 또는 입력작업만을 행하면 된다.

LONSIM에서 모든 입력 창은 사용자의 이해와 입력이 용이하도록 설계되어 있으며, 다양한 그림과 보조 창을 포함하고 있다. LONSIM이 시작되면 사용자는 맨 먼저 재고관리비, 창고비, 차량운영비, 주문처리비 등의 각종 비용에 대한 입력을 요구 받는다. 이어서 사용자는 고객, 공장, 부품공급업체, 관리창고, 지역창고의 수, 차량경로결정기법, 주문처리규칙, 그리고 기타 시뮬레이션에 필요한 자료를 입력하게 된다. LONSIM은 입력된 자료를 토대로 물류망을 완성하여 화면에 색 그림으로 보여 준다('Normal Network' 보기).

사용자는 'Node' 또는 'Branch' type을 선택한 상태에서 화면 상 물류망의 노드를 클릭하여 나타난 입력 창을 통하여 노드와 브랜치에 관한 자료를 편리하게 입력할 수 있다. 'Node' type 입력 창에서는 시설의 위치와 생산정책 또는 재고정책, 고객의 평균 주문시간 간격과 주문량, 그리고 서비스시간대 등의 자료를 입력하고, 'Branch' type 입력 창에서는 해당 노드와 교호작용이 존재하는 상위단계 시설, 주문창고 선정방법, 수송수단 등의 자료를 입력한다. 생산정책과 재고정책 파라미터값의 입력과정에서 사용자는 DSS 단추를 클릭함으로써 주어진 상황에서 최선의 해를 제공 받을 수 있다.

<그림 4>는 'Node' type을 선택한 상태에서 2번 지역창고 노드를 클릭함으로써 나타나는 입력 창이다. 저장제품 A의 정량발주 재고관리를 위한 파라미터 입력에서 'DSS' 단추를 누르면 화면 왼쪽에서와 같은 보조 입력 창이 나타나며, 필요한 자료를 입력하면 재고정책 최적화 프로그램의 실행에 의해 구해진 최적의 주문량, 재 주문점, 안전재고 수준이 보조 창의 맨 아래에 제시된다. 보조 창 맨 위의 'Simulation Information' 상자에는 이전 시뮬레이션 실행과정에서 얻어진 2번 창고에서의 평균 수요와 평균 재고보충 리드타임, 그리고 서비스수준이 주어진다. 사용자는 'Data Input' 상자 입력에서 이 자료를 참고할 수 있다. 물류망의 노드들의 실제 지리적 관계를 파악하기를 원하는 경우에는 메인 창 맨 위에 나타나 있는 메뉴 바

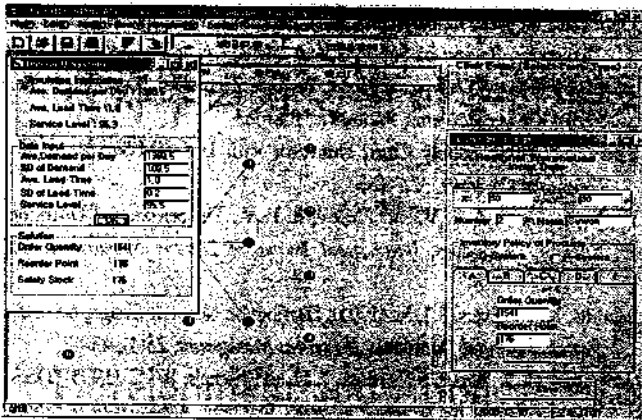


그림 4. 창고의 재고정책 입력 창 예.

에서 'Network View(S)'를 클릭한 후 'Real Network'를 선택하면 실제 위치에 자리한 노드들의 물류망 그림이 화면에 나타난다 ('Real Network' 보기).

메인 메뉴 바에서 'Locarion(R)'을 클릭하면 나타나는 'New Facility Location' 또는 'Facility Location Change' 메뉴를 선택하여 신설비 또는 기존설비의 새로운 입지와 함께 해당 시설의 노드와 브랜치에 관한 자료를 입력할 수 있다. 입지의 입력과정에서 'DSS' 단추를 클릭함으로써 시설입지 최적화 프로그램의 지원을 받을 수 있다. 사용자는 재고관리 파라미터 입력에서와 같이 이전 시뮬레이션 실행 동안에 수집된 대상 시설과 다른 시설간의 실제 물동량 자료를 제공 받는다.

모든 입력을 마치고 메인 메뉴 바에서 'Run' 단추를 클릭하면 나타나는 'Execution'과 'VRP' 메뉴 중에서 'Execution' 메뉴를 클릭하면 시뮬레이션이 실행된다. AweSim 시뮬레이션 모형을 Visual Basic 환경에서 실행시키기 위해서는 <그림 5>와 같은 AweSim 모형의 실행을 지시하는 Visual Basic 프로그램이 미리 준비되어 있어야 한다. 'VRP' 메뉴를 선택하면 시뮬레이션 동안 지역창고에서 결정된 배송차량경로의 화면출력에 관한 입력 창이 나타난다. 사용자는 화면출력을 원하는 지역창고 번호와 화면출력 주기를 입력할 수 있다. 입력된 자료는 외부 파일에 저장되어 시뮬레이션이 진행되는 동안 배송 서버부터 실행될 때마다 읽혀진다.

시뮬레이션이 종료되면 화면에 출력보고서 선택 입력 창이 나타난다. 선택메뉴는 크게 AweSim Summary Report와 LONSIM Report로 나뉘어 있다. AweSim Summary Report는 AweSim 이 자체적으로 제공하는 요약 보고서이며, LONSIM Report는

```
Private Sub Execution_Click()
    Dim retval As Long
    Dim simroot As String
    simroot = Environ("AweSim")
    retval = Shell(simroot + "\bin\execute LONSIM", 1)
End Sub
```

그림 5. AweSim 시뮬레이션 모형 실행('Execution') 단추 Visual Basic 프로그램.

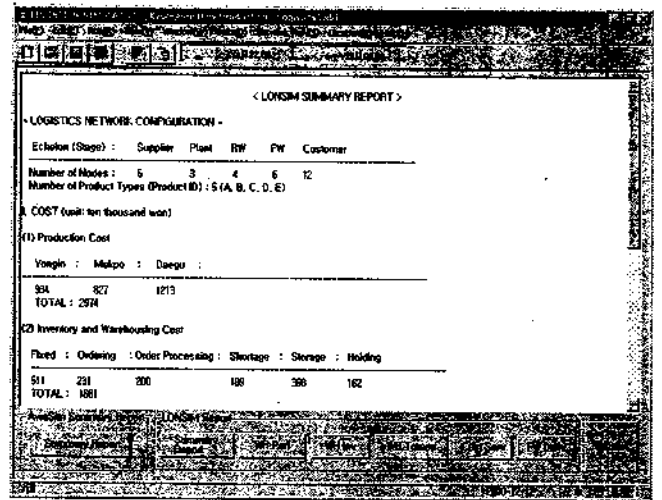


그림 6. LONSIM SUMMARY REPORT 출력화면 예의 일부.

OUTPUT 함수프로그램에서 작성된 총 6가지 텍스트 보고서로 구성되어 있다. 이 중 LONSIM Summary Report는 비용과 고객 서비스에 관한 요약 보고서이고, 나머지는 항목별 세부 보고서이다. 'WH Perf'는 각 창고의 일반적 수행도(재고회전률, 품질 등), 'WH Inv'는 각 창고의 재고정보(재고관리비, 안전재고 등), 'WH Transp'는 각 창고의 수송정보(수송비, 수송수단, 수송량 등), 'Cust Serv'는 고객서비스 정보(주문리드타임, 서비스 시간대 위반, 배달거리 등), 'FW Deliv'는 지역창고의 배송정보(차량소요대수, 차량운영비, 차량이동거리 등)를 포함한다. <그림 6>은 LONSIM Report 메뉴에서 'Summary Report'를 선택함으로써 출력되는 LONSIM SUMMARY REPORT 화면 예의 일부를 보여준다. LONSIM의 재 실행을 원하면 'ReStart' 단추를 클릭한다.

#### 4. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 저자가 개발한 물류망 설계 및 계획을 위한 시뮬레이터(LONSIM)을 소개하였다. LONSIM은 물류망 운영에 따른 비용, 고객서비스 수준, 시설 이용율, 고객주문 리드타임 등을 평가함으로써 최적의 물류망 설계와 계획을 지원한다. LONSIM은 최대 5단계 물류망을 대상으로 공장 및 창고입지, 재고정책, 생산정책, 주문창고선정, 부품공급업체선정, 주문처리 우선순위, 수송수단, 배송차량경로 등의 총 8가지 물류망 설계 및 계획에 관한 변수입력을 허용한다. 이 중 시설입지, 재고정책, 생산정책, 배송차량경로의 의사결정에서는 최적화 또는 휴리스틱 모형을 실행하여 사용자를 지원한다. LONSIM은 AweSim 2.1시뮬레이션 언어와 Visual Basic 6.0 범용언어로써 프로그램 되었다.

LONSIM은 물류망의 총체적 분석, 전략적·전술적·운영적 수준 의사결정의 통합, 자체 내장 의사결정지원시스템(DSS), 사용자의 편의성, 상세한 출력보고서, 시뮬레이션 퍼드



백 메커니즘, 적용의 유연성 등을 특징으로 한다. 비록 LONSIM은 작은 규모의 물류망과 한정된 설계 및 계획 변수만을 다루는 prototype 이지만, 이를 기반으로 GIS, 데이터베이스, 애니메이션, 사용자 인터페이스, 최적화 기법 및 휴리스틱 기법 기반 DSS, 의사결정 입력변수, 상세 비용계산 등의 기능과 처리능력을 보완하여 상용 시뮬레이터로 개발될 수 있을 것이다. 향후 진보된 물류망 시뮬레이터의 개발과 관련하여 ERP와 같은 기업내 정보시스템과의 결합, 시뮬레이션 모형의 표준화, 최적화 및 휴리스틱 모형과의 효율적 결합, 웹 기반 실행 등은 지속적으로 연구되어야 할 과제이다.

## 참고문헌

- 박양병 (2000), 물류네트워크 설계 및 계획을 위한 의사결정지원시스템에 대한 연구, *산업공학지*, 13(4), 627-638.
- Bagchi, S., Buckley, S., Ertl, M. and Lin, G. (1998), Experience Using the IBM Supply Chain Simulator, *Winter Simulation Conference*, 1387-1394.
- Balakrishnan, N. (1993), Simple Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows, *Operations Research*, 44(3), 279-287.
- Ballou, R. H. (1999), *Business Logistics Management*, 4th ed., Prentice Hall.
- Ballou, R. H. and Masters, J. M. (1999), Facility Location Commercial Software Survey, *Journal of Business Logistics*, 20(1), 216-233.
- Clarke G. and Wright, J. (1964), Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, 12, 568-581.
- Francis, R. L., McGinnis, Jr., L. F. and White, J. A. (1992), *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*, 2nd ed., Prentice Hall, 201-209.
- Ganeshan, R., Jack, E., Magazine, M. J. and Stephens, P. (1999), Chap. 27: A Taxonomic Review of Supply Chain Management Research, *Quantitative Models for Supply Chain Management*, Tayur, S., Ganeshan, R. and Magazine, M. (eds), Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Hietta, S. (1998), Supply Chain Simulator with LOGSIM-Simulator, *Winter Simulation Conference*, 323-326.
- Leeuw, S., Goor, A. R. V. and Amstel, R. P. V., The Selection of Distribution Control Techniques, *International Journal of Logistics Management*, 10(1), 97-112.
- Mourits, M. and Evers, J. J. M. (1995), Distribution Network Design, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(5), 43-57.
- Moynihan, G. P., Raj, P. S., Sterling, J. U. and Nichols, W. G. (1995), Decision Support System for Strategic Logistics Planning, *Computers in Industry*, 26, 75-84.
- Napolitano, M. (1997), Distribution Network Modeling, *IIE Solutions*, 29(6), 20-25.
- Pritsker, A. A. B., O'Reilly, J. J. and Laval, D. K. (1997), *Simulation with Visual SLAM and AweSim*, John Wiley & Sons.
- Ronen, D. (1988), LSD-Logistic System Design Simulation Model, *Proceedings of the Eighteenth Annual Transportation and Logistics Educators Conference*, Boston, 35-47.
- Sengupta, S. and Turnbull, J. (1996), Seamless Optimization of Entire Supply Chain, *IIE Solutions*, 28(10), 28-32.
- Slats, P. A., Bholra, B., Evers, J. J. M. and Dijkhuizen, G. (1995), Logistics Chain Modeling, *European Journal of Operational Research*, 87, 1-20.
- Swegles, S. (1997), Business Process Modeling with SIMPROCESS, *Winter Simulation Conference*, 606-610.
- Waller, A. G. (1995), Computer Systems for Distribution Planning, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(4), 35-45.



### 박 양 병

한양대학교 산업공학과 학사

Pennsylvania State University 산업공학과 석사

Oklahoma State University 산업공학과 박사

Northeastern University 산업 및 정보공학과 교수

현재: 경희대학교 기계·산업시스템공학부 교수

관심분야: SCM, 물류네트워크설계, 컴퓨터 시뮬레이션