

인터넷 기반의 물류중개 에이전트를 위한 가변형 정기/정량 매칭 알고리즘

정근채[†]

충북대학교 토목공학부

Variable Periodic/Fixed Matching Algorithms for Internet-Based Logistics Brokerage Agents

Keun-Chae Jeong

School of Civil Engineering, Chungbuk National University, Korea

In logistics e-marketplaces, brokerage agents intermediate empty vehicles and freights registered by car owners and shippers. In the previous research, we proposed constant periodic/fixed matching algorithms for the logistics brokerage agents with the objective of minimizing the total transportation lead time and the transportation due date tardiness of freights(Jeong, 2004; Jeong, 2007). However, the constant type algorithms cannot consider changes in the balance status of an e-marketplace, i.e. the difference between the numbers of freights and vehicles to wait for matching, because they use non-changing matching periods and amounts. In this paper, we propose variable type algorithms for the logistics brokerage agent, in which the matching periods and amounts are changed continuously by considering the balance status between the freights and vehicles. In order to compare performance of the variable type algorithms to the previous constant type algorithms, we carried out computational experiments on various problem instances. The results show that the variable type algorithms give better performance than the constant type algorithms. We can expect that the logistics brokerage agents can improve their performance by using the proposed variable periodic/fixed matching algorithms.

Keyword: logistics, brokerage agent, transportation, periodic matching, fixed matching

1. 서론

인터넷이라는 새로운 환경이 우리의 생활에 깊이 뿌리를 내리게 되면서 기존의 오프라인 형태의 시장이 온라인 형태의 전자시장(e-Marketplace)으로 급속히 변화하고 있다. 제품원가에서 물류비용이 차지하는 비율이 11%를 상회하는 국내 제조업의 여건 상 시장의 온라인화 추세는 물류분야에도 예외 없이 적용되어 최근의 전자조달(e-Procurement) 또는 공급망관리(Supply

Chain Management)라는 분야의 급부상으로 나타나고 있다(<http://www.mk.co.kr>).

이러한 변화의 영향으로, 오프라인 상의 화물운송, 택배서비스, 이사 서비스 등을 수행하던 전통적인 물류기업들은 인터넷을 활용하여 화주의 운송주문에 대한 견적을 알려주거나 운송신청을 받는 등의 온라인 비즈니스를 수행하는 형태로 진화하고 있다(<http://www.korex.co.kr>). 다른 한편으로, 물류정보제공 분야의 기업들은 차주회원에게는 운송을 필요로 하는 화물

본 논문은 2009학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

[†]연락처 : 정근채 교수, 61-763 충청북도 청주시 흥덕구 개신동 12 충북대학교 토목공학부, Fax : 043-263-2409,

E-mail : kcjeong@cbnu.ac.kr

투고일(2010년 01월 22일), 심사일(1차 : 2010년 02월 10일), 게재확정일(2010년 02월 12일).

에 대한 정보를 알려주고 화주회원에게는 화물을 운송할 수 있는 차량에 대한 정보를 제공하는 비즈니스를 수행하고 있다 (<http://www.100-b.net>, <http://netruck.co.kr>, <http://www.webtruck.co.kr>). 나아가 선진적인 인터넷 기업들은 인터넷 상에서의 경매 또는 역경매 등의 방식에 기초한 비즈니스 모델을 통해 화물과 차량을 알선하는 물류중개업이라는 새로운 영역을 개척해 나가고 있다(<http://www.e4cargo.com>). 그러나 이러한 분야에서 대부분의 기업은 단순히 화물의 위치, 행선지, 운송기간 등과 관련된 정보를 접수하여 상대방에게 전달하는 수준의 비즈니스 모델에 머물러 있을 뿐 적극적 의미의 물류중개는 아직 이루어지고 있지 못한 형편이다.

물류분야는 아니지만 화물을 소유하고 있는 기업을 소비자로 또한 차량을 소유하고 있는 기업을 공급자로 생각한다면, 일반적인 상품에 대한 전자상거래에서 에이전트가 수행하고 있는 중개활동과의 유사성을 찾아볼 수 있다. 이러한 에이전트 중개 분야에서는 다기준의사결정 방법론을 활용한 전자상거래 에이전트나 매칭 알고리즘을 활용한 단순화된 형태의 경매와 같은 다양한 형태의 연구가 진행되어왔다(Sandholm, 2002; Karacapilidis, 2001; Penn and Tennenholtz, 2000). 최근 물류분야에 대해서도 다기준의사결정 방법론을 이용하여 화주의 화물과 차주의 차량을 연결하여 중개하는 물류중개 에이전트에 대한 연구가 진행되었다(Jeong, 2003). 그러나 이 방법론은 중개시장에 중개의 대상이 이미 주어져 있다는 가정 하에, 하나의 화물(또는 차량)에 대해 선호도가 가장 높은 차량(또는 화물)을 선택하여 화주(또는 차주)에게 알려주는 형식의 정적인 중개에 대해서만 적용이 가능하다. 이와 같이 소비자와 공급자 사이의 일대다(다대일) 대응 및 정적인 중개 대상이 가정되는 기존의 에이전트 개념으로는 화물과 차량 사이의 다자간 중개가 필요하며 중개 대상인 화물과 차량이 중개 시장에 동적으로 도착하는 물류중개 분야의 문제에 대한 해법을 제시하기 어려운 형편이다.

다행스럽게도 최근 물류분야에서 인터넷 물류중개 에이전트라는 개념을 도입하여 차량과 화물을 효율적으로 연결하여 운송함으로써 적기운송을 꾀하고 전체적인 운송시간과 납기 지연을 최소화하려는 연구가 시작되었다(Jeong, 2004; Jeong, 2007). 이 연구에서는 실시간매칭, 정기매칭, 정량매칭 등의 방법론을 통해 동적으로 도착하는 화물과 차량에 대해 중개시점을 결정하고, 중개시점에서 운송리드타임과 운송납기지연을 최소화하기 위해 화물과 차량의 매칭문제를 “Bipartite Weighted Matching Problem”으로 모형화하여 해결하였다. 기존에도 물류분야의 효율화를 위한 다양한 연구들이 진행되었지만(Bodin *et al.*, 1983; Ronen, 1988; Desrochers *et al.*, 1990), 이들 연구는 본 연구에서 관심을 갖는 화물과 차량을 효율적으로 연결하기 위한 물류중개 분야가 아닌 차량 일정/경로계획(Baita *et al.*, 2000; Kim and Kim, 1999; Bish *et al.*, 2001) 및 차량 할당으로 대분되는 일반적인 운송최적화 분야를 다루고 있다(Vukadinovic *et al.*, 1999; Baker and Sheasby, 1999).

최근에 들어 시작된 “인터넷 기반 물류중개 에이전트”에서는 물류중개 문제를 “중개시점결정문제”와 “화물차량매칭문제”로 분해하여 문제해결을 시도하였다(Jeong, 2004; Jeong, 2007). 중개시점결정문제를 해결하기 위해 실시간매칭, 정기매칭, 정량매칭 방법론을 사용하였으며, 화물차량매칭문제를 해결하기 위해서는 헝가리안 알고리즘을 이용하였다. 이를 연구에서 제안한 방법론의 성능은 헝가리안 알고리즘에 의해 최적해를 얻을 수 있는 화물차량매칭문제보다는 어떻게 중개시점을 결정할 것인가와 관련된 중개시점결정문제의 해결방안에 따라 크게 달라지는 경향을 보인다.

그러나 기존 연구에서 제안한 정기매칭과 정량매칭 방법론에서는 중개시점을 결정하기 위한 기준인 매칭주기와 매칭수량을 상수 값으로 취급하였다. 이들 방법론은 물류중개 에이전트가 동일한 값의 매칭주기와 매칭수량을 사용함으로써, 물류중개시점을 결정함에 있어 대기 중인 화물과 차량에 발생한 변동상황을 동적으로 반영할 수 없었다. 그러나 만약 대기 중인 화물과 차량의 상태(비슷한 물량의 화물과 차량이 대기 중인 균형 상태 또는 적은 수의 화물 또는 차량과 상대적으로 많은 수의 차량 또는 화물이 대기 중인 불균형 상태)에 따라 매칭주기와 매칭수량을 동적으로 조정하여 물류중개시점을 결정할 수 있다면, 운송납기지연을 보다 감소시키고 운송리드타임을 보다 단축시킬 수 있을 것이다. 이러한 가정을 바탕으로 본 연구에서는 물류중개시점 결정기준인 매칭주기와 매칭수량이 동적으로 변화하는 형태의 가변형 정기/정량 매칭 알고리즘을 제안하고자 한다.

다음 장에서는 화주, 차주, 중개인이 가입하는 “인터넷 기반 물류중개 에이전트” 문제를 정의한다. 이어 제 3장에서는 정의된 문제를 보다 효율적/효과적으로 해결할 수 있는 가변형 방법론에 대해 서술한다. 제 4장에서는 제안된 가변형 방법론이 기존의 상수형 방법론에 비해 어떤 성능을 보이는가를 알아보기 위한 실험에 대해 소개하고 그 결과를 보고한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 결론을 제시한다.

2. 인터넷 기반의 물류중개 에이전트 문제

물류 분야에 대한 전자시장에는 화주, 차주, 중개 에이전트를 포함하는 3가지 종류의 참여자가 존재한다. 화주는 한 장소에서 다른 장소로 운송될 화물을 소유한 개인이나 기업을 의미하고, 차주는 화물을 운송할 차량을 소유하고 있는 개인이나 기업을 의미한다. 여기서 중개 에이전트는 효율적이며 효과적인 매칭 알고리즘을 사용하여 차량과 화물을 중개하는 정보시스템이라고 정의할 수 있다. <Figure 1>은 n 명의 화주와 m 명의 차주가 소속되어 있는 물류중개시장에서 중개 에이전트가 화물과 차량 간 중개를 수행하는 개념적인 절차를 보여주고 있다. 물류중개는 먼저 화주와 차주가 위치, 물량, 납기, 목적지와 같은 화물과 차량 정보를 중개인에게 전달하는 절차로부터 시

작된다. 정보를 받아들인 후 중개 에이전트는 이 정보와 매칭 알고리즘을 이용하여 보다 효율적으로 운송이 이루어 질 수 있도록 화물과 차량을 연결한다. 이후 중개 에이전트는 중개된 화물과 차량을 화주와 차주에게 알려주고 후행 계약 및 운송 절차를 수행하도록 한다. 이와 같은 물류중개시장에서 어느 시점에 어떤 화물이 어떤 차량에 중개되어 운송되는가에 따라, 운송납기 지연 및 운송리드타임에 큰 영향을 미치게 되고 이는 결국 중개 에이전트가 관할하고 있는 화주와 차주의 물류비용과 고객 서비스 수준에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

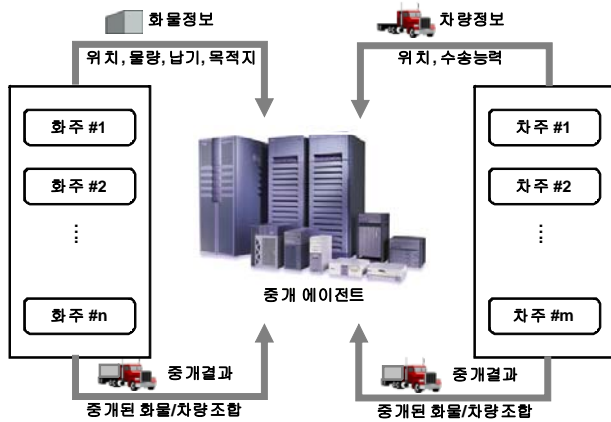
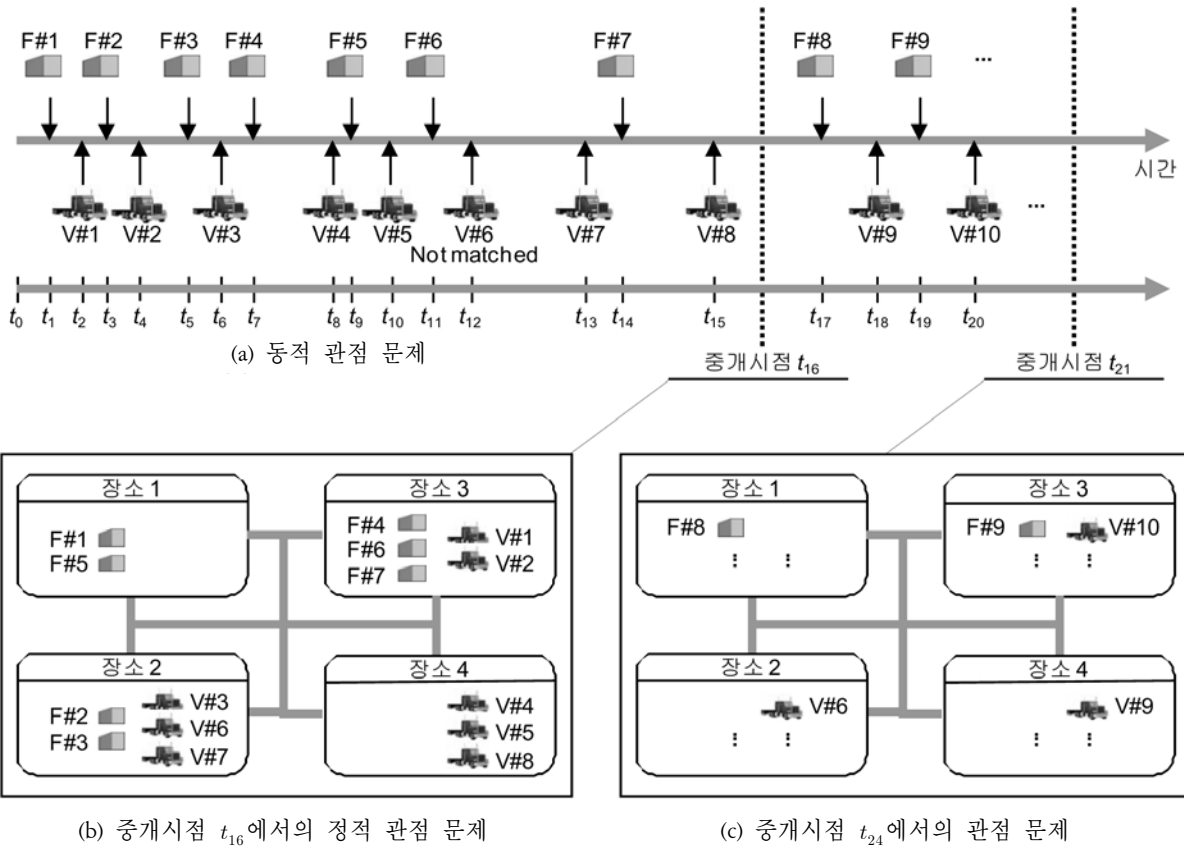


Figure 1. 화물과 차량을 위한 전자적 물류중개시장

<Figure 2>의 (a)는 화물 F#1은 t_1 에 발생하고, 차량 V#1은 t_2 에 발생하고, 화물 F#2는 t_3 에 발생하는 등 물류중개 시장에서 화물과 차량이 각각 서로 다른 시점에 발생하고 있는 모습을 보여주고 있다. 물류중개 시장에서 화물이 발생한다는 것은 특정 위치에서 화물의 운송이 필요하게 되어 화주가 화물정보를 중개 에이전트에게 전달하는 것을 의미하며, 차량이 발생한다는 것은 차량이 특정 위치에서 운행이 가능하게 되어 차주가 중개 에이전트에게 차량의 정보를 전달한다는 것을 의미한다. 중개 에이전트는 중개시점이라 불리는 특정시점에서, 그 시점까지 발생한 화물과 차량 모두를 대상으로 운송이 가장 효율적으로 수행될 수 있도록 화물과 차량을 매칭한다. <Figure 2>의 (a)에서 F#1부터 F#7에 이르는 7개의 화물과 V#1에서 V#8에 이르는 8대의 차량은 중개시점 t_{16} 이전에 발생했기 때문에 중개시점 t_{16} 에는 7개의 화물과 8대의 차량을 대상으로 매칭이 수행되며, 중개시점 t_{21} 에서는 t_{16} 에 매칭되지 못한 차량 V#6과 새롭게 도착한 F#8, F#9, V#9, V#10을 대상으로 매칭이 수행된다. 비록 화물과 차량이 동일한 가상의 전자물류시장에 등록되었다 하더라도, 실제 화물이 발생하고 차량이 가용해지는 물리적인 위치는 서로 다르다. 그러므로 특정 중개시점에서의 매칭 문제는 화물과 차량이 서로 다른 위치에 놓여있는 <Figure 2>의 (b)와 (c)같이 표현될 수 있다. <Figure 2>의 (b)는 화물 F#1과 F#5는 장소 1에서, 화물 F#2와 F#3은 장소 2에서, 화물



(b) 중개시점 t_{16} 에서의 정적 관점 문제

(c) 중개시점 t_{21} 에서의 정적 관점 문제

Figure 2. 물류중개에 대한 동적/정적 관점의 문제

F#4, F#6, F#7은 장소 3에서 발생하며, 차량 V#3, V#6, V#7은 장소 2에서, 차량 V#1과 V#2는 장소 3에서, 그리고 차량 V#4, V#5, V#8은 장소 4에서 사용이 가능해진 상황을 묘사하고 있다.

본 연구에서는 <Figure 1>과 <Figure 2>에서 설명된 바와 같이 화물과 차량이 동적으로 발생하는 전자물류시장에서 중개 에이전트를 이용하여 운송의 효율성/효과성을 극대화시키려는 문제를 “인터넷 기반의 물류중개 에이전트 문제”라고 정의한다. 본 연구에서는 하나의 화물은 하나의 차량에 의해서만 운송되며, 반대로 하나의 차량은 하나의 화물만을 운송할 수 있다고 가정한다. 여기서 화물은 여러 작은 화물의 집단으로 취급할 수 있다. 화주가 차량을 이용하고자 할 때 차량의 용량만큼의 화물을 준비하는 것이 일반적이기 때문에, 위에서 가정된 상황은 하나의 차량이 차량의 용량에 대응하는 물량의 화물을 특정한 출발지점에서 도착지점까지 운송하는 상황으로 해석할 수 있다. 또한 모든 차량에 대해 차량의 성능은 동일하며, 따라서 출발지점과 도착지점이 동일하다는 조건아래에서 차량의 운송시간은 동일하다고 가정한다. 앞서 정의한 의사결정문제를 보다 명확하게 서술하기 위해 다음과 같은 의사결정변수와 기호를 정의한다.

- t : 의사결정변수, 전자물류시장에 도착한 화물과 차량이 매칭되는 중개시점, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$
- $x_{ij}(t)$: 의사결정변수, 중개시점 t 에서 화물 i 가 차량 j 에 의해 수송되는 것으로 결정되면 $x_{ij}(t) = 1$, 그렇지 않으면 $x_{ij}(t) = 0$, $i = 1, 2, \dots, n(t)$, $j = 1, 2, \dots, m(t)$, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$
- $n(t)$: 중개시점 t 에 매칭 대기 중인 화물의 개수, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$
- $m(t)$: 중개시점 t 에 매칭 대기 중인 차량의 대수, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$
- $a_i(t)$: 화물 i 가 도착한 시점, $a_i(t) \leq t$, $i = 1, 2, \dots, n(t)$, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$
- $b_i(t)$: 화물 i 가 목적지에 도착해야 하는 시간, 즉, 화물 i 의 운송납기, $a_i(t) \leq b_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, n(t)$, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$
- $d_{ij}(t)$: 가용한 차량 j 의 대기위치로부터 화물 i 의 대기위치까지

이 이동하는데 걸리는 시간, $i = 1, 2, \dots, n(t)$, $j = 1, 2, \dots, m(t)$, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$

$e_{ij}(t)$: 가용한 차량 j 를 이용하는 경우, 화물 i 의 대기위치에서 목적지까지 이동하는데 걸리는 시간, $i = 1, 2, \dots, n(t)$, $j = 1, 2, \dots, m(t)$, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$

본 연구에서는 운송의 효율성/효과성을 평가하기 위해, <Figure 3>에 도식적으로 정의되어 있는 운송리드타임(Transportation Lead Time; TLT)과 운송납기 지연(Transportation Due-date Tardiness; TDT)의 두 가지 성능평가척도를 이용한다. 운송리드타임이 운송을 위해 소요된 시간의 측면에서 얼마나 효율적으로 운송이 수행되었는가를 평가한다면, 운송납기지연은 납기의 측면에서 얼마나 효과적으로 운송이 수행되었는가를 평가하는 척도이다. 이들 성능평가척도의 값은 <Figure 3>에 정의되어 있는 바와 같이 대기시간, 이동시간, 운송시간에 의해 결정된다. 대기시간은 화물의 발생시점(전자물류시장 도착시점)에서 중개시점까지의 시간으로, 예를 들면, <Figure 2>의 화물 F#5에 대한 대기시간은 $t_{16} - t_9$ 이 된다. 이동시간은 차량이 대기 중인 위치에서 수송할 화물이 대기 중인 위치까지 이동하는데 걸리는 시간을 의미한다. 예를 들면, <Figure 2>의 (b)에서 만약 화물 F#5가 차량 V#4에 의해 수송되기로 결정되었다면 이동시간은 장소 4에서 장소 1로 이동하기 위해 소요된 시간을 의미한다. 마지막으로 운송시간은 차량이 중개된 화물을 싣고 화물의 출발지로부터 목적지까지 운송하는데 걸리는 시간으로 정의된다. 예를 들어 F#5의 목적지가 장소 2라면 운송시간은 차량 V#4가 장소 1에서 장소 2로 이동하는데 걸리는 시간을 의미한다. <Figure 3>에 나타나 있는 바와 같이 운송리드타임의 정의는 납기의 준수여부와 관계없이 대기시간, 이동시간, 운송시간의 합으로 정의된다. 그러나 운송납기지연은 <Figure 3>의 (a)와 같이 납기가 준수되어 화물운송종료시점이 납기보다 작은 경우에는 0 값을 갖고, <Figure 3>의 (b)와 같이 화물운송종료시점이 납기를 넘어선 경우에만 화물운송종

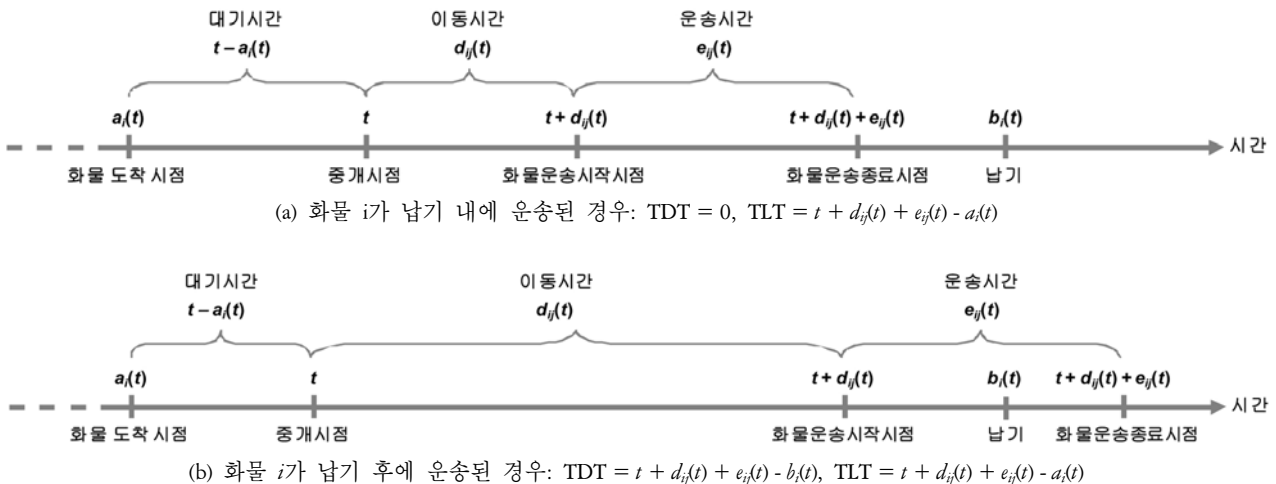


Figure 3. 운송납기 만족 여부에 따른 운송리드타임 및 운송납기지연의 정의

료시점에서 납기를 뺀 값으로 정의된다. <Figure 3>에 나타나 있는 운송리드타임과 운송납기지연의 개념에 따라 의사결정문제의 목적계수 $c_{ij}(t)$ 와 목적함수 값 $C(t)$ 를 정의하면 다음과 같다.

$c_{ij}(t)$: 중개시점 t 에서 화물 i 가 차량 j 에 의해 수송되는 경우, 성능평가척도가 운송납기지연이라면 $c_{ij}(t) = \text{Max}[0, t + d_{ij}(t) + e_j(t) - b_i(t)]$, 성능평가척도가 운송리드타임이라면 $c_{ij}(t) = t + d_{ij}(t) + e_j(t) - a_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, n(t)$, $j = 1, 2, \dots, m(t)$, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$

$C(t)$: 중개시점 t 에서의 화물과 차량 간의 매칭문제에 대한 목적함수 값, $t = t_1, t_2, \dots, t_r$

앞서 정의된 의사결정변수 및 기호와 <Figure 3>에 도식적으로 나타나 있는 운송리드타임 및 운송납기지연의 개념을 이용하여 “인터넷 기반의 물류중개 에이전트 문제”를 수학적으로 정의하면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{t=t_1}^{t_r} C(t) \tag{1}$$

$$\text{Subject to } C(t) = \sum_{i=1}^{n(t)} \sum_{j=1}^{m(t)} c_{ij}(t)x_{ij}(t), t = t_1, t_2, \dots, t_r, \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n(t)} x_{ij}(t) = 1, j = 1, 2, \dots, m(t), t = t_1, t_2, \dots, t_r \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^{m(t)} x_{ij}(t) = 1, i = 1, 2, \dots, n(t), t = t_1, t_2, \dots, t_r \tag{4}$$

$$x_{ij}(t) \text{ is a binary variable, } i = 1, 2, \dots, n(t), j = 1, 2, \dots, m(t), t = t_1, t_2, \dots, t_r \tag{5}$$

위의 수식에 나타나 있는 바와 같이 “인터넷 기반의 물류중개 에이전트 문제”의 해결을 위해서는 다음과 같은 두 가지 하위 의사결정문제를 해결해야 한다. 첫 번째 문제는 동적관점에서의 중개시점결정문제이다. 즉, 어느 시점에 화물과 차량을 매칭 할 것인가를 결정하는 의사결정문제로 t 가 결정변수가 된다. 두 번째 문제는 정적관점에서의 화물차량매칭문제이다. 즉, 임의의 중개시점에서 화물과 차량을 어떠한 방법으로 매칭할 것인가를 결정하는 의사결정문제로 $x_{ij}(t)$ 가 결정변수가 된다.

첫 번째 의사결정문제인 중개시점결정문제에서 결정변수 t 는 다음과 같은 의미를 갖는다. 예를 들어, <Figure 2>의 (a)에서 t_{16} 과 t_0 사이, t_{21} 과 t_{16} 사이의 시간 간격이 길어진다면 중개시점에 더 많은 차량과 화물이 물류시장으로 모이게 된다. 이로 인해 화물은 자신의 위치와 보다 가까운 위치에서 대기 중인 차량과 매칭 될 가능성이 높아지며 이는 차량 이동시간 $d_{ij}(t)$ 의 감소를 초래한다. 반면 화물은 중개시점이 될 때까지 보다 많은 시간을 기다려야 하므로 화물의 대기시간 $t - a_i(t)$ 는 증가하게 된다. “인터넷 기반의 물류중개 에이전트 문제”에 내재되어 있는 상충관계는 중개시점 사이의 시간이 길어지면 대기시간은 길어지지만 이동시간은 줄어들고, 반대로 중개시점 사이의

시간이 짧아지면 대기시간은 줄어드는 반면 이동시간은 길어진다는 사실이다. 따라서 차량의 이동시간과 화물의 대기시간의 합을 최소화할 수 있도록 t 가 결정되어야 한다.

만약 t 가 결정되어 임의의 중개시점이 되었다면, 두 번째의 사결정문제인 화물차량매칭문제가 발생하게 된다. 특정 중개시점 t 에서는 $n(t)$ 개의 화물과 이들을 운송하기 위한 $m(t)$ 개의 차량이 존재한다. 만약 $n(t)$ 가 $m(t)$ 보다 작거나 같다면 $n(t)$ 개의 화물과 차량이 매칭되며, $m(t)$ 가 $n(t)$ 보다 작거나 같다면 $m(t)$ 개의 화물과 차량이 매칭된다. 특정 중개시점 t 에서의 매칭문제는 전형적인 할당문제(Assignment Problem or Bipartite Weighted Matching Problem)로서 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^{n(t)} \sum_{j=1}^{m(t)} c_{ij}(t)x_{ij}(t) \tag{6}$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^{n(t)} x_{ij}(t) = 1, j = 1, 2, \dots, m(t) \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^{m(t)} x_{ij}(t) = 1, i = 1, 2, \dots, n(t) \tag{8}$$

$$x_{ij}(t) \text{ is a binary variable, } i = 1, 2, \dots, n(t), j = 1, 2, \dots, m(t) \tag{9}$$

3. 문제해결절차

앞서 언급한 바와 같이 “인터넷 기반의 물류중개 에이전트 문제”의 해결을 위해서는 먼저 중개를 해야 하며, 그 시점에 어떻게 화물과 차량을 매칭 할 것인가에 대한 두 가지 문제를 해결해야 한다. 전자는 화물과 차량에 대한 매칭 문제를 해결해야 하는 시점 $t = t_1, t_2, \dots, t_r$ 를 결정하는 것을 의미하며, 후자는 임의의 중개시점 t 에서 중개시점 이전에 발생했으나 아직 매칭되지 않고 대기 중인 $n(t)$ 개의 화물과 $m(t)$ 개의 차량에 대한 매칭방법 $x_{ij}(t)$ 를 결정하는 것을 의미한다. 따라서 문제를 해결을 위한 절차 역시 다음과 같은 두 단계로 나눌 수 있다. 첫 단계는 t 를 결정하기 위한 중개시점결정방법이고, 두 번째 단계는 $x_{ij}(t)$ 를 결정하기 위한 화물차량중개방법이다. 먼저 중개시점결정방법을 설명한다.

본 연구에서는 기존 연구에서 이미 제안되어 그 성능을 검증한 실시간매칭(Real Time Matching : RTM), 상수형 정기매칭(Constant Periodic Matching : CPM), 상수형 정량매칭(Constant Fixed Matching : CFM)과 본 연구를 통해 추가적으로 제안하고 있는 가변형 정기매칭(Variable Periodic Matching : VPM)과 가변형 정량매칭(Variable Fixed Matching : VFM) 등 총 다섯 가지 중개시점결정방법을 고려한다(Jeong, 2004; Jeong, 2007). 기존 연구결과를 살펴보면 상수형 정기매칭과 상수형 정량매칭은 운송리드타임(Jeong, 2004)과 운송납기지연(Jeong, 2007)의 측면에서 실시간매칭에 비해 매우 우수한 성능을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 이들 방법에서 매칭주기와 매칭수량을

중개시장의 환경에 맞게 가변적으로 조정함으로써 중개 에이전트의 성능을 향상시킬 수 있다는 가정 하에 가변형 정기매칭방법과 가변형 정량매칭방법을 새롭게 제안한다. 이들 중개시점결정방법에 대한 정의는 다음과 같다.

- RTM : 화물이나 차량이 발생하는 즉시 화물과 차량을 중개한다.
- CPM : 미리 정해놓은 시간간격(상수형 매칭주기)마다 화물과 차량을 중개한다.
- CFM : 운송을 기다리고 있는 화물의 수와 차량의 수가 모두 미리 정한 수량(상수형 매칭수량)에 이르렀을 때 화물과 차량을 중개한다.
- VPM : 기본적으로 CPM과 같은 정기매칭 방식을 이용하여 화물과 차량을 중개하지만, VPM은 CPM과 달리 상수형 매칭주기를 이용하지 않고 중개시장에 대기 중인 화물과 차량의 상황을 반영하여 결정되는 가변형 매칭주기를 이용한다. 가변형 매칭주기는 다음과 같이 상수형 매칭주기에 조정계수를 적용함으로써 결정된다. 가변형 매칭주기 = 상수형 매칭주기 × (1 + 조정계수). 여기서 조정계수는 <Figure 4>와 같이 매칭차이에 대한 1차 함수로 정의되며, 매칭차이가 β 보다 작은 범위에 대해서는 매칭차이가 커짐에 따라 조정계수의 값이 α 부터 $-\alpha$ 까지 점차 작아지게 되며, β 보다 크거나 같은 범위에 대해서는 값을 $-\alpha$ 값을 유지한다. 또한 매칭차이가 $\beta/2$ 가 되면, 조정계수는 0값을 갖게 되어 가변형 매칭주기는 상수형 매칭주기와 동일한 값을 갖게 된다. 여기서 매칭차이는 다음과 같이 특정한 중개시점에서 대기 중인 화물과 차량의 수량차이를 화물과 차량이 발생할 수 있는 장소의 수로 나눈 값으로 정의된다. 매칭차이 = |대기화물의 수 - 대기차량의 수| / 발생가능 장소의 수.
- VFM : 기본적으로 CFM과 동일한 정량매칭 방식을 이용하지만, VFM은 CFM과 달리 상수형 매칭수량을 이용하지 않고 중개시장에 대기 중인 화물과 차량의 상황을 반영하여 조정되는 가변형 매칭수량을 이용한다. 가변형 매칭수량은 다음과 같이 상수형 매칭수량에 조정계수를 적용함으로써 결정된다 : 가변형 매칭수량 = 상수형 매칭수량 × (1 + 조정계수). 여기

서 조정계수는 VPM과 동일한 방식으로 결정된다.

<Figure 5>의 (a)에 나타나 있는 바와 같이 RTM 방법을 사용하면 시점 t_{10}, t_{15}, t_{17} 을 제외한 t_1 부터 t_{22} 까지, 즉, 화물이나 차량이 도착한 시점에 중개가 이루어지며, (b)와 같이 CPM 방법을 사용하면 시점 $t_{10}, t_{17}(= t_{10} + \text{상수형 매칭주기}), t_{23}(= t_{17} + \text{상수형 매칭주기})$ 에 중개가 이루어지며, (c)와 같이 CFM 방법을 사용하면 시점 t_9 (만일 상수형 매칭수량을 4라고 가정했다면 4번째 차량이 시점 t_9 에 도착하고, 이에 따라 운송대기 중인 화물과 차량이 모두 4개 이상이 된다)와 시점 t_{19} 에서 매칭 의사결정이 이루어지게 된다. 반면 <Figure 5>의 (d)와 같이 VPM 방법을 이용하는 경우, 첫 번째 중개시점은 CPM과 동일한 t_{10} 이지만, 이 시점에서 화물의 수가 차량의 수보다 하나 더 많으므로 매칭차이가 발생하게 된다. 이로 인해 가변형 매칭주기는 원래의 상수형 매칭주기보다 짧아지게 되며, 결국 VPM은 CPM의 두 번째 중개시점보다 앞선 시점에 중개를 수행할 것을 제안하게 된다. 또한 <Figure 5>의 (e)와 같이 VFM 방법을 이용하는 경우 역시 첫 번째 중개시점은 CFM과 동일한 t_9 이지만, VPM과 마찬가지로 VFM은 작아진 가변형 매칭수량으로 인해 CFM의 두 번째 중개시점보다 앞선 시점에 중개를 수행할 것을 제안하게 된다.

VPM과 VFM에서는 임의의 중개시점에 매칭차이가 크면 클수록 가변형 매칭주기와 매칭수량은 작아지고, 결국 이로 인해 다음 중개시점은 상수형 매칭주기와 매칭수량을 사용하는 경우보다 상대적으로 짧은 시간간격 후에 도래하게 된다. 반면 매칭차이가 작으면 작을수록 가변형 매칭주기와 매칭수량은 커지고, 결국 이로 인해 다음 중개시점은 상수형 매칭주기와 매칭수량을 사용하는 경우보다 상대적으로 긴 시간간격 후에 도래하게 된다. VPM과 VFM 속에 숨어있는 의미는 매칭차이가 크면 클수록 이동시간이 작은 화물/차량 조합이 매칭될 가능성이 높기 때문에, 이러한 경우 굳이 대기시간을 증가시키며 더 이상 기다릴 필요 없이 이동시간의 측면에서 충분히 효율적인 상대와 매칭될 수 있는 지금 바로 매칭을 수행하는 것이 유리하다는 것이다. 반면 매칭차이가 적은 경우 이동시간이 작은 상대와 매칭될 가능성이 적으므로, 대기시간을 증가시키더라도 조금 더 기다림으로써 이동시간을 줄일 수 있는 방향으로 매칭을 수행하라는 의미이다.

VFM과 VPM의 사용을 위해서는 α 와 β 값을 결정해야 한다. 본 연구에서는 일련의 예비실험을 수행 한 후, 운송리드타임과 운송납기 지연을 최소화하는 α 는 대략 0부터 1사이의 값이 적절하며, β 는 대략 1부터 2까지의 값이 적절하다는 경험적 결론을 도출하였다. <Table 1>은 이와 같은 경험적 결론 아래 해당 범위의 값을 대표할 수 있는 9가지 (α, β) 조합을 생성한 후 운송리드타임과 운송납기 지연에 대한 성능평가실험을 수행한 결과를 보여주고 있다. 실험결과를 살펴보면 (α, β) 조합의 차이에 따라 대략 3 ~ 5%의 성능차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 예비실험결과를 바탕으로, 다음 장에서

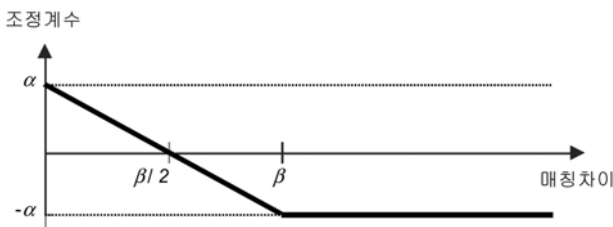


Figure 4. 매칭차이와 조정계수의 관계

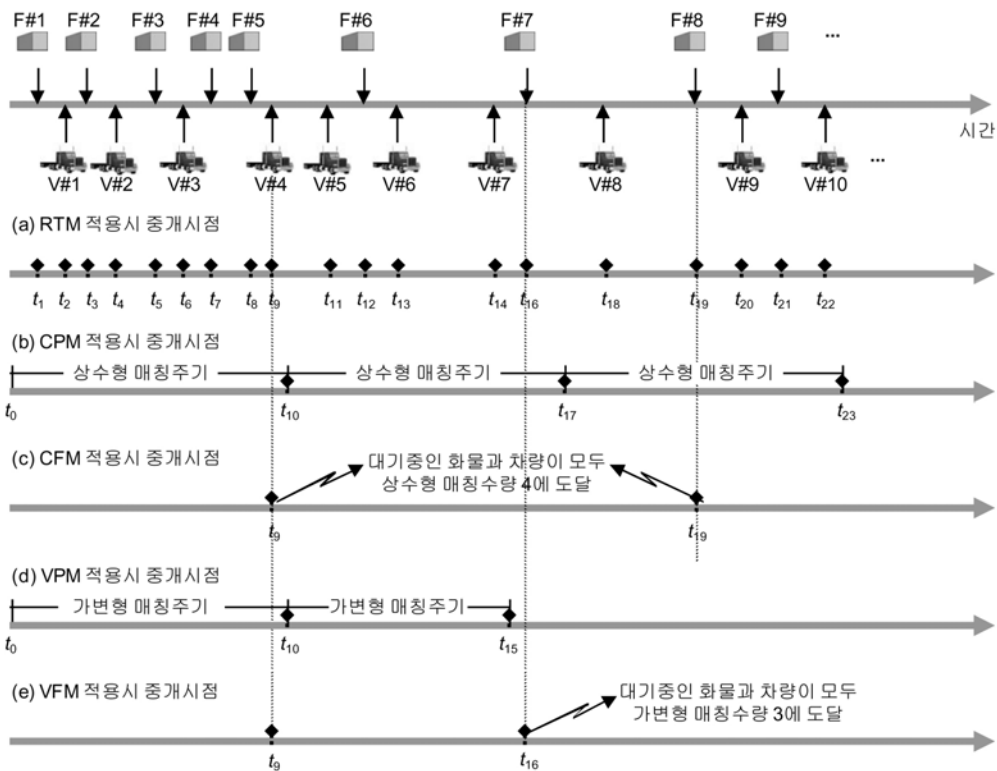


Figure 5. 중개시점결정방법에 따른 중개시점 비교

Table 1. α 와 β 값 결정을 위한 예비실험결과

중개시점 결정방법	α	목적식 값					
		운송리드타임			운송납기지연		
		β			β		
		0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
VFM	0.25	1.1918	1.1804	1.1927	0.1615	0.1605	0.1623
	0.50	1.1550	1.1462	1.1631	0.1601	0.1577 [†]	0.1602
	0.75	1.1346	1.1192 [†]	1.1284	0.1606	0.1578	0.1598
VPM	0.25	1.1914	1.1870	1.1869	0.1527	0.1524	0.1542
	0.50	1.1662	1.1496	1.1506	0.1504	0.1488	0.1513
	0.75	1.1306	1.1155 [†]	1.1214	0.1494	0.1461 [†]	0.1503

[†] 최소 목적식 값.

수행되는 성능평가실험에서는 운송납기지연 최소화를 위한 VFM과 VPM에 대해서는 모두 $\alpha = 0.75$ 와 $\beta = 1.0$ 으로 값을 이용하고, 운송리드타임 최소화를 위한 VFM에 대해서는 $\alpha = 0.50$ 과 $\beta = 1.0$ 값을 VPM에 대해서는 $\alpha = 0.75$ 와 $\beta = 1.0$ 값을 이용한다.

CPM과 CFM과 마찬가지로 VFM과 VPM의 사용을 위해서는 매칭주기와 매칭수량을 결정해야 한다. VFM과 VPM에 대한 예비실험을 수행한 결과, CPM과 CFM과 마찬가지로 매칭주기와 매칭수량에 대한 운송리드타임과 운송납기지연의 함수가 아래로 볼록한 형태를 갖는다. 따라서 CPM과 CFM과 마찬가지로 VFM과 VPM에서도 증분탐색 알고리즘을 이용하여 매칭주기와 매칭수량의 결정한다. 증분탐색 알고리즘에 대한 자세한

설명은 기존 연구를 참조하기 바란다(Jeong, 2004; Jeong, 2007).

특정 중개시점에서 어떻게 화물과 차량을 매칭할 것인가에 대한 문제인 화물차량중개문제는 중개시점결정문제에 비해 매우 자명한 해결방법을 가지고 있다. 식 (6)~식 (9)를 살펴보면 특정 중개시점에 해결해야 할 화물차량중개문제는 전형적인 할당문제로 정형화됨을 알 수 있다. 이 문제는 이미 잘 알려져 있는 헝가리안 알고리즘을 이용하여 최적해를 쉽게 생성할 수 있다. 따라서 본 연구에서도 기존 연구에서와 마찬가지로 헝가리안 알고리즘을 이용하여 화물차량중개문제를 해결한다. 헝가리안 알고리즘에 대한 자세한 설명 역시 기존 연구를 참조하기 바란다(Jeong, 2004; Jeong, 2007).

4. 성능평가를 위한 실험

본 연구에서 새롭게 제안된 가변형 방법론의 성능평가를 위해 총 162(2 × 3 × 3 × 3 × 3)개 문제집합을 형성한다. 이 집합들은 {HOH, MAR, NOL, TDL, DTL} 형태의 파라미터 집합으로 특성화될 수 있다.

- HOH(Homogenous Or Heterogeneous) : 화물과 차량이 발생할 수 있는 위치에서 화물과 차량에 대한 평균 도착률이 동일한 가 아닌 가에 따라 HOH는 “동일” 또는 “이질” 중에 하나이다. 즉, “동일”은 모든 위치에서 화물과 차량의 평균 도착률이 같은 경우를 의미하며, “이질”은 각 위치마다 서로 다른 평균 도착률을 갖는 경우를 의미한다.
- MAR(Mean Arrival Rate) : 화물과 차량의 평균 도착률 MAR은 0.5, 1, 2 중 하나이다. 즉, 각 위치에서 단위 시간당 화물과 차량이 평균적으로 0.5, 1, 2개 발생하는 경우를 의미한다.
- NOL(Number Of Locations) : 화물이 발생할 수 있으며 차량을 이용할 수 있는 장소의 수 NOL은 4, 7, 10 중 하나이다. 즉, 화물과 차량의 임의의 좌표에서 발생하는 것이 아닌 특정 지점에서만 발생하는 경우를 가정하며, 여기서 장소란 화주와 차주가 사업을 수행중인 도시라고 해석할 수 있다.
- TDL(Time Distance Level) : 장소간의 시간거리가 짧거나, 중간이거나, 또는 긴가에 따라 TDL은 0.5, 1.0, 1.5 중 하나의 값을 갖는다. 여기서 시간거리란 물리적 거리가 아닌 교통상황을 종합적으로 고려하여 산정되는 운송시간에 비례하는 지표를 의미한다. 시간거리가 길다는 것은 장소 사이를 이동하는 데 소요되는 시간이 긴 상황을 의미하며, 이 상황에서는 대기시간보다 이동시간이 상대적으로 중요성을 갖게 된다.
- DTL(Due date Tardiness Level) : 운송납기가 여유가 있거나, 중간이거나, 급한 가에 따라 DTL은 0.8, 1.0, 1.2 중 하나의 값을 갖는다. 즉, 1.0을 기준으로 0.8은 납기가 급한 상황을 1.2는 납기에 여유가 있는 상황을 묘사한다.

예를 들어, 문제 집합{동일, 2, 10, 1, 0.8}은 모든 장소에서의 평균 도착률이 동일하며, 각 위치에서의 평균 도착률이 2이며, 화물과 차량이 발생할 수 있는 장소의 수가 10이고, 장소 사이의 이동시간이 보통이며, 납기가 급한 상황을 의미한다. 본 성능평가실험에서 화물과 차량의 발생은 $\lambda = \text{MAR}$ 인 포아송 프로세스를 따른다고 가정하며, 발생시점간의 간격은 $1/\lambda = 1/\text{MAR}$ 의 평균값을 가지는 지수분포를 갖는다고 가정한다. 성능평가를 위한 실험에서는 앞서 정의된 162개의 문제 집합 각각에 대해, 다음과 같이 5개의 문제를 임의로 생성하여 제안된 매칭 알고리즘의 성능을 분석한다.

- HOH가 “동일”인 경우에는 화물의 도착간격 시간은 EXP

(1/MAR)로부터 생성한다. 여기서 EXP(a)는 평균값 a 를 가지는 지수분포를 의미한다. HOH가 “이질”인 경우에는 먼저 $U(0.75 \times \text{MAR}, 1.25 \times \text{MAR})$ 로부터 장소 k 의 평균 도착간격 시간 MAR_k 를 산출한다. 여기서 $U(a, b)$ 는 a 와 b 사이의 유니폼 분포를 나타낸다. 이후 $\text{EXP}(1/\text{MAR}_k)$ 로부터 장소 k 에서의 화물의 도착간격 시간을 산출한다.

- 장소 k 의 x 좌표와 y 좌표는 $U(0, 10)$ 으로부터 산출된다. 장소 k 와 l 사이의 시간거리는 다음과 같이 TDL과 두 장소 사이의 직선거리를 이용하여 산정한다. 시간거리 = $\text{TDL} \times [(\text{장소 } k \text{의 } x\text{좌표} - \text{장소 } l \text{의 } x\text{좌표})^2 + (\text{장소 } k \text{의 } y\text{좌표} - \text{장소 } l \text{의 } y\text{좌표})^2]^{1/2}$. 이 경우 임의의 두 지점간의 운송에 걸리는 평균 시간은 $\text{TDL} \times 10/2$ 가 됨을 알 수 있다. 이러한 사실을 바탕으로 화물의 납기는 다음과 같이 결정된다: 화물의 납기 = 화물의 발생시점 + 화물의 출발지에서 도착지까지의 시간거리 + $\text{DTL} \times \text{TDL} \times 10/2$.
- 임의의 화물에 대한 평균 운송시간은 차량의 위치로부터 화물의 출발지까지의 운송과 화물의 출발지로부터 화물의 도착지까지의 운송에 걸리는 시간의 합, 즉, $2 \times \text{TDL} \times 10/2 = \text{TDL} \times 10$ 이 된다. 물류중개 시장에서 화물과 차량의 균형을 맞추기 위해서는, 차량의 서비스율과 화물의 도착률이 같아지도록 차량의 대수를 결정해야 한다. 따라서 “차량의 수 / ($\text{TDL} \times 10$) = $\text{NOL} \times \text{MAR}$ ”라는 관계식으로부터 차량의 수는 $\text{NOL} \times \text{MAR} \times \text{TDL} \times 10$ 개로 결정되었다. 차량의 첫 번째 발생(가용)시간은 $\text{EXP}(\text{TDL} \times 10)$ 을 이용하여 결정된다. 임의의 차량이 화물을 도착지까지 운송하고 나면 해당 차량은 그 위치에서 가용해지게 되며, 이는 실험에서 차주가 해당 차량을 물류중개시장에 등록하여 해당 위치에서 사용가능한 차량이 새롭게 발생하는 것으로 묘사된다.

본 실험에서는 각 문제에 대해 RTM, CPM, CFM, VPM, VFM의 다섯 가지 매칭 알고리즘을 적용하여 그 성능을 비교/분석한다. 기존 연구결과를 살펴보면 CPM과 CFM의 사용을 위한 매칭주기와 매칭수량에 대해 증분탐색 알고리즘을 이용하면 최적은 아닐지라도 매우 우수한 값을 얻을 수 있다는 사실을 알 수 있다(Jeong, 2004; Jeong, 2007). 본 연구에서는 VPM과 VFM에 대해서도 증분탐색 알고리즘이 좋은 해를 주고 있는가를 검증하기 위해 기존 연구와 마찬가지로 열거방법(Full Enumeration)과 비교하여 그 해의 우수성을 검증한다. 즉, 증분탐색 알고리즘과 열거방법의 결과를 비교하여 증분탐색 알고리즘이 열거방법에 비해 어느 정도 우수한 해를 제공하는가를 분석하여 증분탐색 알고리즘의 성능을 검증한다. 열거방법에서는 CPM과 VPM 방법의 매칭주기에 대해 (0.1, 0.2, ..., 3.0)과 같이 0.1부터 3.0까지 0.1씩 증가시켜 가면서 30개의 매칭주기 값을 적용해 본 다음에 그 중 가장 작은 운송납기치연과 운송리드타임을 제공한 매칭주기를 선택한다. 마찬가지로 CFM과 VFM 방법의 매칭주기에 대해 (1, 2, ..., 30)과 같이 1부터 30까지 1씩

증가시켜 가면서 30개의 매칭수량 값을 적용해 본 다음에 그 중 가장 작은 운송납기지연과 운송리드타임을 제공한 매칭주기를 선택한다. 따라서 본 실험에서 CPM은 증분탐색방법을 이용하여 구한 매칭주기를 이용하는 CPM-G 방법과 열거방법을 이용하여 구한 매칭주기를 이용하는 CPM-E 방법으로 이원화된다. 이와 마찬가지로 CFM, VPM, VFM 역시 각각 CFM-G와 CFM-E, VPM-G와 VPM-E, VFM-G와 VFM-E로 이원화된다. 따라서 최종적으로 비교 대상이 되는 방법론은 RTM을 비롯해 CPM-G, CPM-E, CFM-G, CFM-E, VPM-G, VPM-E, VFM-G, VFM-E 등 9개가 된다.

본 실험에서는 랜덤효과로 인한 오차를 제거하기 위해 각 문제에 대해 10번의 반복실험을 수행하고 그 평균값을 이용하여 성능분석을 수행하였다, 각 반복실험은 100단위 시간 동안 수행되었으며, 이 기간 동안 대략 200~2000쌍의 화물과 차량이 증가되었다. 시뮬레이션 실험을 위해 C언어를 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하였으며, 펜티엄 IV 3.0GHz 프로세서를 탑재한 컴퓨터 8대를 이용하여 약 1개월에 걸쳐 시뮬레이션 실험을 수행하였다.

<Table 2>에 나타나 있는 바와 같이 물류중개 내내 일정한 값을 사용하는 상수형 매칭주기와 매칭수량을 적용한 방법론보다 매칭차이에 따라 매칭주기와 매칭수량을 늘이거나 줄이는 가변형 방법론이 운송리드타임에 대해서는 대략 7~9% 정도의 성능향상을 보이며, 운송납기지연에 대해서는 대략 4~7%의 성능향상을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 “인터넷 기반 물류중개 에이전트”가 상수형 매칭주기와 매칭수량을 이용하는 것보다 가변형 매칭주기와 매칭수량을 이용하는 것이 운송리드타임과 운송납기지연을 줄이는데 보다 도움이 된다는 것을 증명하는 것이다. 또한 기존 연구 결과와 마찬가지로 증분탐색 알고리즘과 열거방법으로 매칭주기와 매칭수량을 결정한 방법 간에는 별다른 성능차이를 보이고 있지 않음을 알 수 있다. 기존 연구결과에서도 언급한 바와 같이 이러한 결과는 증분탐색 알고리즘이 우수한 성능의 매칭주기와 매칭수량을 찾는데 적당한 방법임을 증명한다(Jeong, 2004; Jeong, 2007). <Table 2>의 결과를 보면 서로 다른 상수형/가변형, 매칭주기/

매칭수량, 증분탐색 알고리즘/열거방법을 이용한 9개의 방법론 중 운송납기지연과 운송리드타임 두 성능평가 척도 모두에 대해 가변형 매칭주기와 증분탐색방법을 이용한 VPM-G의 성능이 가장 우수한 것을 알 수 있다. 기존 연구에서도 언급한 바와 같이 증분탐색 알고리즘이 열거방법보다 조금 더 우수한 결과를 보인 이유는 열거방법이 사용한 매칭주기 또는 수량 사이에 최적 매칭주기가 존재 할 수 있기 때문이다(Jeong, 2004; Jeong, 2007).

<Table 3>은 문제발생 파라미터 값의 변화에 따른 상수형 방법과 가변형 방법의 성능차이의 변화를 알아보기 위한 분산분석 결과를 보여주고 있다. 분석결과를 살펴보면 운송리드타임 성능척도에 대해서는 모든 파라미터가 운송납기지연에 대해서는 HOH를 제외한 나머지 파라미터가 성능차이에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. <Table 4>는 각 문제발생 파라미터 값의 변화가 상수형 방법과 가변형 방법의 성능차이에 얼마만큼의 영향을 미치고 있는 가를 보여주고 있다. 분석결과를 살펴보면 운송리드타임 성능척도에 대해서는 모든 경우에 대해 가변형 방법이 보다 좋은 성능을 보이고 있으며, 특히 MAR, NOL, TDL의 값이 커지면 커질수록 상수형 방법보다 더욱 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 한편 운송납기지연 성능척도에 대해서는 특별한 경향을 보이지 않고 모든 경우에 대해 고르게 가변형 방법이 상수형 방법보다 우수한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 문제발생 파라미터 값의 변화가 α 와 β 값의 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 추가적인 실험을 실시하였다. 본 실험을 위해 앞서 언급한 162개 문제집합에 대해, α 는 (0.25, 0.5, 0.75) 세 가지와 β 는 (0.5, 1, 2) 세 가지 값의 조합으로 총 9개의 (α, β) 조합을 만들고, 각 조합에 대해 증분탐색 알고리즘을 이용하여 우수한 매칭주기와 매칭수량을 결정한 후, 시뮬레이션 실험을 수행하여 9개의 조합 중 최고 좋은 목적식 값을 제공한 (α, β) 조합을 선택하였다. <Table 5>은 이 추가적인 실험결과를 바탕으로 α 와 β 값에 영향을 미친 문제발생 파라미터가 무엇인지를 규명하기 위한 분산분석결과를 보여주고 있다. <Table 5>에 나타나 있는 분산분석결과를 살펴보면

Table 2. 상수형 방법과 가변형 방법 간의 성능차이에 대한 t-검정 결과

증개시점 결정방법	목적식 값											
	운송리드타임						운송납기지연					
	상수형	가변형	차이	성능향상 비율	t-통계량	p-Value	상수형	가변형	차이	성능향상 비율	t-통계량	p-Value
RTM	1.0733	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.2679	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
FM-G	1.0379	0.9457	0.0922	8.88%	24.1038	0.0000 [†]	0.1877	0.1768	0.0109	5.80%	7.5239	0.0000 [†]
FM-E	1.0374	0.9426	0.0948	9.14%	25.0598	0.0000 [†]	0.1803	0.1734	0.0069	3.84%	8.1871	0.0000 [†]
PM-G	1.0163	0.9408 ^{††}	0.0755	7.43%	25.9049	0.0000 [†]	0.1696	0.1582 ^{††}	0.0113	6.69%	14.8065	0.0000 [†]
PM-E	1.0316	0.9479	0.0837	8.11%	26.5535	0.0000 [†]	0.1717	0.1608	0.0110	6.39%	14.8329	0.0000 [†]

[†] 유의수준 0.01하에서 두 집단 간에 성능차이가 있음.

^{††} 최소 목적식 값.

Table 3. 상수형 방법과 가변형 방법 간의 성능차이에 대한 분산분석 결과

분산의 원천	운송리드타임					운송납기 지연				
	분산	자유도	평균분산	F-통계량	p-Value	분산	자유도	평균분산	F-통계량	p-Value
중개시점결정방법	8.2489	4	2.0622	1119.0853	0.0000 [†]	0.3369	4	0.0842	115.8542	0.0000 [†]
HOH	0.0341	1	0.0341	18.5133	0.0000 [†]	0.0009	1	0.0009	1.2445	0.2647
MAR	0.6633	2	0.3317	179.9837	0.0000 [†]	0.1543	2	0.0771	106.1242	0.0000 [†]
NOL	0.1429	2	0.0714	38.7638	0.0000 [†]	0.0502	2	0.0251	34.5223	0.0000 [†]
TDL	0.6470	2	0.3235	175.5552	0.0000 [†]	0.0105	2	0.0053	7.2501	0.0007 [†]
DTL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.0239	2	0.0119	16.4142	0.0000 [†]
오차	1.9699	1069	0.0018			2.3457	3227	0.0007		
전체	11.7061	1080				2.9223	3240			

[†] 유의수준 0.01하에서 해당 요인이 성능차이에 영향을 미치고 있음.

Table 4. 문제발생 파라미터에 따른 상수형 방법과 가변형 방법 간의 성능차이 분석

문제발생 파라미터		운송리드타임				운송납기 지연			
		상수형	가변형	차이	성능향상비율	상수형	가변형	차이	성능향상비율
HOH	동일	0.9558	0.8750	0.0808	8.46%	0.1674	0.1579	0.0095	5.68%
	이질	1.1058	1.0135	0.0922	8.34%	0.1872	0.1767	0.0106	5.64%
MAR	0.5	1.6057	1.4911	0.1147	7.14%	0.3444	0.3250	0.0193	5.62%
	1	0.9384	0.8477	0.0907	9.66%	0.1327	0.1248	0.0079	5.97%
	2	0.5483	0.4941	0.0543	9.90%	0.0549	0.0521	0.0028	5.17%
	4	1.2298	1.1287	0.1010	8.22%	0.2976	0.2830	0.0145	4.89%
NOL	7	1.0150	0.9292	0.0858	8.45%	0.1511	0.1405	0.0106	7.03%
	10	0.8477	0.7749	0.0728	8.59%	0.0834	0.0784	0.0050	5.94%
TDL	0.5	0.8896	0.8355	0.0541	6.08%	0.2402	0.2281	0.0121	5.04%
	1	1.0259	0.9339	0.0920	8.97%	0.1546	0.1443	0.0103	6.66%
	2	1.1769	1.0634	0.1135	9.64%	0.1372	0.1295	0.0077	5.62%
	0.5	N/A	N/A	N/A	N/A	0.2413	0.2282	0.0130	5.41%
DTL	1	N/A	N/A	N/A	N/A	0.1664	0.1558	0.0106	6.36%
	2	N/A	N/A	N/A	N/A	0.1243	0.1179	0.0065	5.20%

Table 5. α 와 β 값에 대한 분산분석 결과

파라미터	분산의 원천	운송리드타임					운송납기 지연				
		분산	자유도	평균분산	F-통계량	p-Value	분산	자유도	평균분산	F-통계량	p-Value
α	방법	608.3767	4	152.0942	15801.2549	0.0000 [†]	1451.2271	4	362.8068	9805.2333	0.0000 [†]
	HOH	0.0168	1	0.0168	1.7475	0.1864	0.0443	1	0.0443	1.1984	0.2737
	MAR	1.1905	2	0.5952	61.8407	0.0000 [†]	0.1876	2	0.0938	2.5353	0.0794 ^{††}
	NOL	0.7379	2	0.3689	38.3298	0.0000 [†]	1.3886	2	0.6943	18.7644	0.0000 [†]
	TDL	0.7382	2	0.3691	38.3462	0.0000 [†]	0.6662	2	0.3331	9.0021	0.0001 [†]
	DTL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.6239	2	1.8120	48.9702	0.0000 [†]
	오차	11.5024	1195	0.0096			171.6122	4638	0.0370		
	전체	622.5625	1206				1628.7500	4651			
β	방법	2081.8793	4	520.4698	2160.2153	0.0000 [†]	8122.6539	4	2030.6635	5832.5273	0.0000 [†]
	HOH	0.0916	1	0.0916	0.3801	0.5377	0.2227	1	0.2227	0.6396	0.4239
	MAR	91.5811	2	45.7906	190.0542	0.0000 [†]	75.8306	2	37.9153	108.9013	0.0000 [†]
	NOL	1.6346	2	0.8173	3.3922	0.0340 ^{††}	2.0858	2	1.0429	2.9954	0.0501 ^{††}
	TDL	62.1470	2	31.0735	128.9708	0.0000 [†]	31.7958	2	15.8979	45.6623	0.0000 [†]
	DTL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6.3866	2	3.1933	9.1719	0.0001 [†]
	오차	287.9164	1195	0.2409			1614.7747	4638	0.3482		
	전체	2525.2500	1206				9853.7500	4651			

[†] 유의수준 0.01하에서 해당 요인이 파라미터 값의 변화에 영향을 미치고 있음.

^{††} 유의수준 0.1하에서 해당 요인이 파라미터 값의 변화에 영향을 미치고 있음.

Table 6. 문제발생 인자에 따른 α 와 β 값 차이 분석

문제발생 파라미터		운송리드타임		운송납기지연	
		α	β	α	β
중개시점결정방법	VFM-G	0.6834	1.2152	0.5446	1.3280
	VFM-E	0.6777	1.1965	0.5347	1.3703
	VPM-G	0.7421	1.3785	0.5805	1.2779
	VPM-E	0.7429	1.4733	0.5735	1.3091
HOH	Homo	0.7056	1.2993	0.5555	1.3143
	Hetero	0.7136	1.3186	0.5614	1.3287
MAR	0.5	0.6657	0.9698	0.5513	1.1429
	1	0.7258	1.3435	0.5684	1.3030
	2	0.7422	1.6540	0.5560	1.4463
NOL	4	0.6731	1.3263	0.5575	1.3320
	7	0.7186	1.2776	0.5810	1.3055
	10	0.7414	1.3219	0.5414	1.3258
TDL	0.5	0.6724	0.9977	0.5700	1.1913
	1	0.7228	1.4114	0.5632	1.3533
	2	0.7387	1.5612	0.5434	1.4071
DTL	0.5	N/A	N/A	0.5934	1.3413
	1	N/A	N/A	0.5671	1.3386
	2	N/A	N/A	0.5234	1.2901

면 운송리드타임과 운송납기 지연 두 가지 성능평가척도 모두에 대해 HOH 파라미터를 제외한 모든 파라미터가 α 와 β 값 결정에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. <Table 6>은 각 문제발생 파라미터 값의 변화가 α 와 β 값에 어떤 영향을 미치고 있는가를 보여주고 있다. 분석결과를 살펴보면 운송리드타임 성능척도에 대해서는 MAR, NOL, TDL의 값이 커지면 커질수록 α 와 β 값이 약간 커지는 경향을 보이고 있다. 그러나 운송납기지연 성능척도에 대해서는 운송리드타임 성능척도에 비해 α 와 β 값의 변화에 특별한 경향이 없음을 알 수 있다. <Table 1>의 예비실험결과와 <Table 6>의 실험결과를 종합해보면, 일반적인 문제상황에서 가변형 매칭주기 및 매칭수량 방법론의 성능이 α 와 β 값의 변화에 큰 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있다. 즉, 매칭차이를 반영하여 매칭주기와 매칭수량을 결정하기 위한 α 와 β 값은 어느 정도 둔감한 파라미터로 판정할 수 있다. 이러한 실험결과를 바탕으로 본 연구에서는 매칭주기와 매칭수량에 대해 가변형 방법론을 적용하는 경우, α 는 대략 0.5 ~ 0.75사이의 값을 그리고 β 는 α 의 두 배 정도인 대략 1 ~ 1.5사이의 값을 적용하는 것을 추천한다.

5. 결론

본 연구에서는 복수의 회사에서 발생하는 화물을 처리하는 복수의 물류업체가 참여하고 있는 인터넷 기반 물류중개시장에

다루고 있다. 물류중개 시장에서 물류중개 에이전트는 화주의 화물과 차주의 차량을 효율적으로 중개하는 역할을 수행한다. 이러한 중개에이전트의 구동을 위해서는 매칭 알고리즘이 필요하며, 기존 연구를 통해 운송납기 지연과 운송리드타임을 최소화하기 위한 상수형 매칭주기와 매칭수량 기반의 정기/정량 매칭 알고리즘이 제시된바 있다. 그러나 이와 같은 상수형 매칭 알고리즘은 물류중개 시장의 상태변화를 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 물류중개 시장의 상태변화에 따라 매칭주기와 매칭수량을 조정함으로써 중개시점을 상황에 적합하게 변화시키며 화물과 차량에 대한 매칭을 수행하는 가변형 매칭 알고리즘을 제시하였다. 실험결과 가변형 매칭 알고리즘이 상수형 매칭 알고리즘보다 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 새롭게 제시한 가변형 매칭 알고리즘이 물류중개 에이전트의 상수형 매칭 알고리즘을 대체한다면, 물류중개 에이전트의 성능을 높임으로써 인터넷 기반의 물류중개 시장의 효율성/효과성을 보다 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 사용된 가정을 완화함으로써 몇 가지 방향으로 확장할 수 있다. 먼저 하나의 차량이 서로 다른 위치에 있는 복수의 화물을 운송하는 경우를 고려할 수 있으며, 다른 한편으로는 화물의 부피 및 중량과 차량의 적재 능력이 서로 다른 경우 등을 생각해 볼 수 있다. 그러나 이런 문제들은 단순히 화물과 차량을 매칭하는 수준을 넘어 차량의 경로문제를 함께 해결해야 하기 때문에 보다 난해할 것으로 예상된다.

참고문헌

- Baita, F., Pesenti, R., Ukovich, W., and Favaretto, D. (2000), A Comparison of Different Solution Approaches to the Vehicle Scheduling Problem in a Practical Case," *Computers and Operations Research*, 27(13), 1249-1269.
- Baker, B. M. and Sheasby, J. (1999), Extensions to the Generalised Assignment Heuristic for Vehicle Routing, *European Journal of Operational Research*, 119(1), 147-157.
- Bish, Ebru K., Leong, Thin-Yin, Li, Chung-Lun, Ng, Jonathan W. C., and Simchi-Levi, David (2001), Analysis of a New Vehicle Scheduling and Location Problem, *Naval Research Logistics*, 48(5), 363-385.
- Bodin L. D., Golden B. L., Assad A. A., and Ball M. O. (1983), Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: the State of the Art, *Computer and Operations Research*, 10(2), 63-211.
- Desrochers, M., Lenstra, J. K., and Savelsberg, M. W. P. (1990), A Classification Scheme for Routing and Scheduling Problems, *European Journal of Operations Research*, 46(3), 322-332.
- Jeong, K.-C. (2003), Multi-Criteria Decision Making Based Logistics Brokerage Agents, *IE Interfaces* 16(3), 473-484.
- Jeong, K.-C. (2004), Dynamic Matching Algorithms for Internet-Based Logistics Brokerage Agents, *International Journal of Management Science*, 10(1), 77-96.
- Jeong, K.-C. (2007), Dynamic Matching Algorithms for On-Time Delivery in e-Logistics Brokerage Marketplaces, *International Journal of Management Science*, 13(1), 93-113.
- Karacapilidis, N. and Moratis, P. (2001), Building an Agent-Mediated Electronic Commerce System with Decision Analysis Features, *Decision Support Systems*, 32(1), 53-69.
- Kim, J.-U. and Kim, Y.-D. (1999), A Decomposition Approach to a Multi-Period Vehicle Scheduling Problem, *Omega*, 27(4), 421-430.
- Penn, M. and Tennenholtz, M. (2000), Constrained Multi-Object Auctions and B-Matching, *Information Processing Letters*, 75(1-2), 29-34.
- Ronen D. (1988), Perspectives on Practical Aspects of Truck Routing and Scheduling, *European Journal of Operations Research*, 35(2), 137-145.
- Sandholm, T. (2002), Algorithm for Optimal Winner Determination in Combinatorial Auctions, *Artificial Intelligence*, 135(1-2), 1-54.
- Vukadinovic, K., Teodorovic, D., and Pavkovic, G. (1999), An Application of Neurofuzzy Modeling : the Vehicle Assignment Problem, *European Journal of Operations Research*, 114(3), 474-488.



정근채

고려대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 한국과학기술원 산업공학과 박사
 현재 : 충북대학교 토목공학부 부교수
 관심분야 : 반도체스케줄링, 물류중개시스템,
 재해경제성평가, 유비쿼터스건설