

## 쓰루풋 회계를 이용한 화물 운송수단선정 The delivery service selection by using Throughput

김승남, 임석철

Seung-Nam Kim, Suk-Chul Rim

아주대학교 대학원 산업공학과, 아주대학교 산업정보시스템공학부 교수

경기도 수원시 영통구 원천동 아주대학교 산업공학과(우: 443-749)

### Abstract

수송서비스의 다양함으로 인하여 화주는 수송서비스의 질과 비용을 비교하여 최적의 수송서비스를 판단한다. 이러한 수송서비스의 판단요소가운데 가장 일반적으로 이용되는 기준이 운송비와 부가가치이다. 그러나 두가지의 기준 가운데 비용을 절감하는 측면으로 수송서비스정책이 주로 행해져 왔다. 본 연구논문에서는 제약이론의 쓰루풋회계의 개념을 응용하여 화주의 입장에서 이익을 고려할 수 있도록 하였다. 제품이 가지고 있는 쓰루풋을 운송기간을 나눈 단위기간당 쓰루풋을 비교하여 운송서비스를 결정하였다. 또한 항공서비스의 수송용량이 선박을 이용한 해상수송서비스에 비하여 용량이 작은것을 고려하였다. 따라서 항공서비스의 수송용량이 제한되는 경우에 제품의 수송서비스 선정 방법을 제안하였으며, 가상의 데이터를 이용하여 단위기간당 쓰루풋등을 측정하여, 올바른 수송서비스의 정책으로 인한 이익을 계산하였다.

### 1. 서론

수송서비스 이용자는 5가지 기본수단(파이프라인, 철도, 육상, 항공, 해상)을 이용하여 수송서비스 수단을 제공받을 수 있다. 화주는 다양한 서비스의 질과 비용을 비교해서 최적의 서비스를 선택한다. 적합한 수송서비스를 선택하기 위해서는 비용, 평균, 수송시간, 수송시간의 신뢰성, 멸실과 손상등과 같은 기본적인 서비스를 검토해야하며, 이러한 요소는 의사결정에 있어서 매우 중요한 것으로 밝혀졌다[4].

항공과 선박의 운임의 결정은 효율과 운임으로 이루어진다. 효율은 운송장 발행일에 유효한 것을 적용

하며 단위무게(Kg)당 효율로 설정하며 통보없이 변경이 가능하다. 중량은 부피를 무게로 환산한 부피환산중량(Volume Weight)와 실제 화물의 중량(Gross Weight)중에서 큰 값을 기준중량(Chargable Weight)로 결정한다. 효율은 수송거리에 의해서 결정된다. 위에서 언급한 운임책정방식은 기본적으로 항공과 선박이 비슷한 방식으로 운영되며, 이러한 운임구조에 각 운송수단이 가지고 있는 운임책정방식을 적용하여 실제 운임을 책정하게 된다. 그러나 화물운임의 책정은 화주보다는 운송업자에게 유리한 구조로 되어있다는 점은 동일하다.

### 2. 관련 연구 및 연구목적

화물의 운송비용에 관한 연구는 김갑환등(1989)의 EOQ를 이용하여 공급자의 운송비용의 절감에 관한 연구를 실시하였으며, S-C Rim et. al(2004)은 항공 화물의 패키징방법에 따라서 화물운송요금이 줄어들 수 있음을 확인하였다.

multi-commodity에 관한 문제는 비용을 최소화 하는 문제([1],[12],[14])와, 제품의 위치선정문제([8],[10],[10])와 저장위치에서의 제품의 저장공간할당([9])등의 다양한 문제가 있으며, 많은 연구결과가 이루어지고 있다. 그러나 multi-commodity 문제는 단일 수송서비스를 가정하고 있는것이 일반적이며 복합수송서비스를 고려한 multi-commodity 문제에 대한 접근도 이루어지고있으나[13] 주로 비용의 최소화 초점을 두고 해결하고 있다.

쓰루풋회계에 관한 최원준(2003)이 Throughput 회계의 연구에 대한 문헌조사를 실시하였다.

본 연구에서는 쓰루풋회계를 응용하여 수송서비스 선정 절차모형을 제안하고 가상의 데이터를 이용하여 수송서비스 선택에 따른 각 제품별 단위시간당 쓰루풋을 측정하였고, 이를 운영경비로 적용하게 되는 운송비의 증감과 비교하여, 운송수단의 올바른 결정이 얼마나 많은 이익을 기대할 수 있게 되는지를 비교연구하였다.

### 3 단위시간당 쓰루풋을 이용한 운송수단의 선정

#### 3.1 개요

해상운임은 항공운임에 비해서 운임의 종류는 복잡하다. 그러나 운임의 구조는 기본운임률에 추가할증료와 추가운임으로 구성되고 있다. 항공운임은 해운에 비해서 운임의 종류는 단순하지만, 운임의 기본구조는 선박과 비슷하다.

해상과 항공의 기본운임률은 중량(Weight) 또는 용적(Measurement) 단위로 표시하며 실제로 운임 산정시에는 중량, 용적중 높은쪽을 택하는 구조를 가지고 있으며 도식화 하면 다음과 같다.

$$V_i = (W_i * L_i * H_i) / 6000 \text{ -----(1)}$$

$$C_i = \text{Max}(G_i, V_i) \text{ -----(2)}$$

$$F = \sum C_i * R_i \text{ -----(3)}$$

즉 실제중량(G)와 부피를 무게로 환산한 중량(V)중에서 높은 쪽을 기준중량으로 선정한다. 선정한 기준중량에 운임률(R<sub>i</sub>)를 적용하여 총운임(F)을 계산한다. 항공과 해운의 운임의 직접적인 비교는 불가능하나, 운송기간과 비용의 관계를 살펴보면 [표 1]과 같이 미주의 경우에는 리드타임은 5배의 차이가 나타나고 이에 비하여 운임은 19배의 차이가 나며, 중국으로 운송하는 경우 항공으로 소요시간은 2일의 차이가 나며, 운임은 2배의 차이를 보인다.

[표 1] Leadtime and Cost

	미주		중국	
	항공	해운	항공	해운
소요시간	4일	20일	3일	5일
운임(비율)	19a	1a	2b	1b

#### 3.2 단위시간당 쓰루풋을 이용한 수송서비스 선정

쓰루풋회계(T)는 기존의 원가회계가 제조원가를 직접비와 간접비로 분류하여 간접비를 제품에 배분하는 방식과 달리 (3)과 같이 완제품이 실제로 판매가 되어서 현금창출로 이어진 경우에 순매출액(S)에

서 재료비(M)를 뺀 현금창출률에서 운영경비(OE)를 제외하여 순이익(NP)을 구하는 원가체계이다.

$$T = S - M \text{ -----(3)}$$

$$NP = T - OE \text{ -----(4)}$$

제품의 생산계획을 수립할 때 쓰루풋회계에서는 단위시간당 쓰루풋이 높은 제품을 우선생산할 것을 권장하고 있다. 그 이유는 쓰루풋에서 재료비만을 빼는 이유는 직접비 산정이 어렵기 때문이며, 직접비 산정이 가능하다면, 순매출액(S)에서 직접비(M')를 빼는 것이 (5)와 같이 쓰루풋을 정확하게 측정할 수 있다.

$$T = S - M' \text{ -----(5)}$$

수송서비스 선정에 따른 수송비는 제품의 수송서비스 전략에 따라 수송비용 자체가 바뀌게 되므로 제품의 직접비로 분류할 수 있다.

제품을 복수의 수송서비스를 이용하여 수송이 가능할 경우 화주의 입장에서는 저렴한 비용으로 높은 이익을 내는 제품이 빨리 시장에 투입하기를 원한다. 그러나 수송서비스와 비용은 trade-off관계에 있다. 따라서 수송비용을 줄이거나 수송기간을 줄이는 두 가지 서비스 정책을 수립하는 것이 일반적이다. 이러한 수송서비스 선정정책은 고가의 제품인 경우 항공을 이용하고, 저가의 제품이나 단위수송비가 많이 소요되는 경우에는 선박을 이용하여 운송하는 정책을 취하고 있다. 이러한 수송서비스 선정방식은 제품자체가 가지고 있는 이익이나 비용만을 고려하고 있으며, 제품의 수송기간에 대한 고려는 배제되어 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해서 화물의 수송서비스에 따른 단위시간당 쓰루풋을 비교하여, 단위시간당 쓰루풋이 높은 수송서비스를 선정하는 것이 바람직하다. 즉 항공서비스의 쓰루풋이 높은 경우에 제품을 항공을 통하여 운송하게하여 시장에 출시시기를 단축시키며, 해운서비스의 쓰루풋을 높은 경우에 운송하게 함으로 인해서 비용의 절감효과를 높이는 것이 바람직하다고 하겠다.

$$T_{id} = T_i / D_i \text{ -----(6)}$$

(6)에서 i제품의 단위시간당 쓰루풋(T<sub>id</sub>)은 수송서비스 선정에 따라 i제품군의 쓰루풋을 운송기간으로 나누어 계산한다.

#### 3.3 제약조건 및 가정

단위중량을 이용하여 화물의 운송수단을 결정하는 문제에는 다음과 같은 제약사항을 가지고 있다.

- 1) 고객의 요구에 의해, 항공화물을 이용한다.
- 2) 전문물류업체를 통한 화물수출이 증가하고 있다. 이러한 경우 운송업체가 항공과 선박을 통한 운송을 모두 취급해야 한다.
- 4) 화물의 운임은 팔렛의 Volume Weight와 Gross Weight중에서 큰 것을 기준으로 정한다.
- 5) 수송서비스 선택전략에 따른 수송비의 차이와 리드타임의 차이는 [표. 1]과 같다.

운송업자가 복합운송수단을 보유하지 않는 경우에 운송수단의 변경은 거래업체의 변경으로 나타나게 되고 이러한 이유로 화주가 화물의 수송서비스의 변경을 쉽게 하지 못하는 이유이기도 하다. 또한 국내에서 미국으로 수출을 하는 경우 [표 1]과 같이 항공으로 4일, 해상으로는 20일의 소요되며, 운송비는 항공이 선박보다 약 19배의 운송비를 취급한다. 이러한 비용과 리드타임의 이유는 제품의 운송수단을 변경하는데 제약이 되고 있다. 따라서 본 연구를 수행하는 데 있어서 다음과 같은 가정을 설정하였다.

- 1) 화물의 운임은 기본운임률을 가지고 책정한 다.
- 2) 화물수송서비스는 화주가 변경할 수 있다.
- 3) 화물의 수송서비스가 완료되면 판매가 이루어진 것으로 가정한다.
- 6) 화물은 부피는 동일하지만 중량은 화물에 따라 틀리다.
- 7) 각제품의 재료비는 동일하며, 판매가격은 다르다.
- 8) 제품의 화물운송지역은 동일하다.
- 9) 화물의 수송서비스별 수송기간과 비용은 [표 1]과 같다.

4 사례연구

본 연구에서는 위와 같은 가정을 하였으며 필요한 데이터는 다음과 같으며 시뮬레이션의 결과를 비교하기 위하여 [표 2]과 같은 임의의 데이터를 만들었다. 예제 데이터는 단거리 수송시의 데이터를 기준으로 하였다.

[표 2] Sample Data

제품	중량	판매가	재료비	항공	선박
Prod 01	286	365	335	19	10
Prod 02	375	180	125	25	13

Prod 03	317	302	268	25	13
Prod 04	297	227	192	26	13
Prod 05	122	161	132	16	8
Prod 06	252	612	538	45	23
Prod 07	142	337	301	19	10
Prod 08	420	942	904	28	14
Prod 09	846	2218	1458	159	80
Prod 10	552	1382	1035	153	77
Prod 11	1258	6502	6253	146	73
Prod 12	1258	5690	4680	105	53
Prod 13	1752	3842	3620	168	84
Prod 14	1853	8150	7905	146	73
Prod 15	1457	8150	6890	123	62
Prod 16	1253	8532	7950	168	84
Prod 17	753	1056	860	142	71
Prod 18	252	1958	1780	146	73
Prod 19	890	3215	2952	182	91
Prod 20	924	1584	680	165	83

Prod 1을 식 (5)를 이용하여 수송서비스별 쓰루풋을 구하면 다음과 같다.

$$\text{항공수송시}(T) = 365 - 335 - 19 = 11$$

$$\text{해상수송시}(T) = 365 - 335 - 10 = 20$$

Prod 1을 식(6)을 이용하여 수송서비스별 단위기간당 쓰루풋을 구한 결과는 다음과 같다.

$$\text{항공수송시}(T) = 11/3 = 3.7 \text{ (T/D)}$$

$$\text{해상수송시}(T) = 20/5 = 4 \text{ (T/D)}$$

위와 같은 계산과정을 완성하면 [표 3]과 같다. 표에서 각 단위기간당 쓰루풋을 평가하여 수송서비스를 선택하는 경우에 [표 3]의 우측과 같은 수송서비스를 선택할 수 있게 된다.

[표 3] 수송서비스별 단위기간당 쓰루풋

제품	항공	해운	수송서비스
Prod 01	3.7	4.0	해운
Prod 02	10.0	8.5	항공
Prod 03	3.0	4.3	해운
Prod 04	3.0	4.4	해운
Prod 05	4.3	4.2	항공
Prod 06	9.7	10.3	해운
Prod 07	5.7	5.3	항공
Prod 08	3.3	4.8	해운
Prod 09	200.3	136.1	항공
Prod 10	64.6	54.1	항공
Prod 11	34.3	35.2	해운
Prod 12	301.7	191.5	항공
Prod 13	18.0	27.6	해운

Prod 14	33.0	34.4	해운
Prod 15	379.0	239.7	항공
Prod 16	138.0	99.6	항공
Prod 17	18.0	25.0	해운
Prod 18	10.7	21.0	해운
Prod 19	27.0	34.4	해운
Prod 20	246.3	164.3	항공

[표 3]의 결과를 이용하여 단위기간당 수송서비스를 선택하는 경우, 단일수송 서비스를 선택하는 경우와 복수수송서비스를 선택하는 경우의 두가지를 고려할 수 있다. 단일 수송서비스를 선택하는 경우와 복수수송서비스를 선택하는 경우의 쓰루풋과 수송비는 [표 4]와 같다.

[표 4] 수송서비스전략에 따른 쓰루풋변화

	항공	복수	해운
운송중인 쓰루풋	13622.4	17287	27719
단위기간당 쓰루풋	1513.6	2253.2	1108.8
수송비	2006	1399.5	1003

복수수송서비스 정책을 취함으로써 인해서 단위기간당 쓰루풋은 항공이나 해운을 단독 수송서비스로 취하게 되는 것보다 높은 쓰루풋을 기대할 수 있다. 또한 저가의 제품이라도 단위기간당 쓰루풋이 높은 경우에는 항공서비스를 활용하고, 고가의 제품이라도 해운을 이용하여 수송하는게 더 효과적일 수 있다. [그림 1]은 [표 3]에서 해운과 항공을 이용하게 됨으로 인해서 얻게 되는 단위기간당 쓰루풋의 차이를

이용하여 누적분포도이다. 항공서비스 용량의 제한(D02)이 있는 경우, 계획되었던 항공서비스를 이용한 제품의 수송량(D01)과의 차이(Dz)가 발생하게 된다.

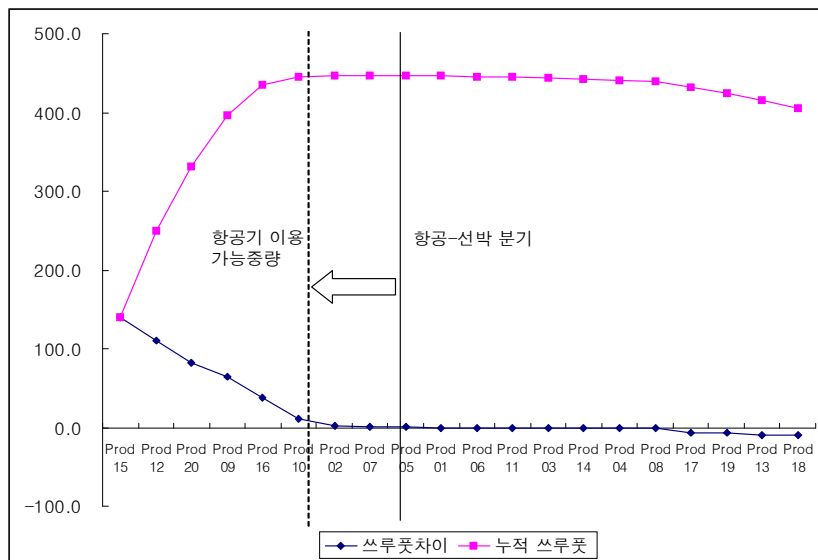
$$Dz = D01 - D02$$

쓰루풋을 기준으로 단위기간당 쓰루풋의 차이가 적은 제품을 우선적으로 해운서비스를 이용하도록 하여 제품수송지연으로 인한 쓰루풋의 감소가 최소화 할 수 있다.

#### 4. 결론

제품을 수송서비스를 선택할 경우 지금까지 고부가가치 제품은 항공을 이용하고, 저부가가치 제품은 선박을 이용하는 방법을 이용하였으며, 수송서비스의 효율성을 평가하기 위해서 운송중인 재고를 금액으로 평가하는 방법을 활용하여 왔다. 그러나 부가가치가 높은 제품일지라도 그 제조원가가 높은 경우에는 높은 이익을 기대할 수 없다. 그러나 단위기간당 높은 쓰루풋을 갖는 제품을 항공운송에 우선배치하고 단위기간당 쓰루풋이 상대적으로 낮은 제품을 선박을 이용하여 수출함으로써, 현금창출이 보다 높은 제품을 항공을 이용하여 보내는 것이 더 효과적임을 확인하였다.

글로벌화되는 환경에서 제품의 출발지는 한곳이 아닌 여러곳으로 변화된다. 이러한 변화는 다대다의 네트워크문제로 정의할 수 있으며 다중수송서비스의 문제의 확장을 통하여 연구모형에 대한 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서는 수송서비스의 용량에 제한이 없다고 가정하였으나 나 수송서비스의 선택에 있



[그림 1] 수송서비스에 따른 누적분포도

어서 용량의 제한이 있는 경우에 대한 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

[1] Suk-Chul Rim, Sang-Chun Bae, Min-Seon Hong, "A heuristic algorithm to reduce the total air shipping charge", International conference Computers & Industrial Engineering 2004 Jeju Korea,

[2] J. Xue and K. K. Lai "A study on cargo forwarding decisions" Computers & Industrial Engineering, Volume 33, Issues 1-2, October 1997, Pages 63-66

[3] 김갑환, 황 학(1989), "공급자의 운송비용을 절감하기 위한 경제적 발주량의 상호 협동적 결정", 한국경영과학회 Vol 14. No. 1, pp51-58

[4] Ronald H. Ballou, "Business logistics management", 2000, pp 171-172

[5] KAL(2003), 2004년 항공수요 전망

[6] 최원준(2003), "쓰루풋 회계의 연구에 대한 문헌조사 및 연구분야", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회

[7] Bruce Shepherd, Lisa Zhang (2001), "A cycle augmentation algorithm for minimum cost multicommodity flows on a ring, Discrete Applied Mathematics", Vol. 110, Issues 2-3, pp. 301-315 ,

[8] G. Rabinowitz, A. Mehrez(2001), "A multi-echelon multi-commodity, logistic system design at the Dead Sea Works Ltd," C&IE, Vol.39, Issues 1-2, pp. 65-79 ,

[9] Bernard Gendron, Jean-Yves Potvin, Patrick Soriano(2003), "parallel hybrid heuristic for the multicommodity capacitated location problem with balancing requirements", Parallel Computing, Vol 29, Issue 5, pp. 591-606,

[10] Yi-Kuei Lin(2004), "An algorithm to evaluate the system reliability for multicommodity case under cost constraint", Computers & Mathematics with Applications, Vol.48, Issues 5-6, September 2004, pp 805-812

[11] J. Castro and N. Nabona(1996), "An implementation of linear and nonlinear

multicommodity network flows", European Journal of Operational Research, Vol.92, Issue 1,

[12] Teodor Gabriel Crainic, Antonio Frangioni, Bernard Gendron(2001), "Bundle-based relaxation methods for multicommodity capacitated fixed charge network design", Discrete Applied Mathematics, Vol.112, No. 1-3, pp.73-99,

[13] V. Gabrel, A. Knippel. M. Minoux(1999), "Exact solution of multicommodity network optimization problems with general step cost functions", Operations Research Letters, Vol.25, Issue 1, pp.15-23 ,

[14] Ali Haghani, Sei-Chang Oh(1996), "Formulation and solution of a multicommodity, multimodal network flow model for disaster relief operations", Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol.30, Issue 3, pp.231-250,

[15] Evangelos Markakis, Amin Saberi(2005), "On the core of the multicommodity flow game", Decision Support Systems, Volume 39, Issue 1, pp. 3-10 ,