

최적 물류운송수단 선정을 위한 시물레이션모델의 연구 A Simulation Model for Transportation Mode Selection in Two-Echelon Logistic System

황 홍 석*

동의대학교 산업공학과

614-714 부산시 부산진구 가야동 산24

동의대학교 산업공학과

Tel : 051)890-1657, Fax :051)890-1619

E-Mail : hshwang@hyomin.donguei.ac.kr

요 약

본 연구는 최근에 국내기업의 물류비용절감을 위한 노력의 일환으로 추진되고있는 적정 물류장비의 선정을 위한 시물레이션 모델의 개발이다. 본 연구에서는 제조공장에서 소비자들에게 공급되는 2 단계 물류시스템에서 물류재고와 운송수단을 고려하여 최소 물류비용의 운송대안선정을 위한 의사결정을 할 수 있도록 개발하였다. 이를 위하여 2 가지의 시물레이션모델의 전산프로그램을 개발하고 응용사례를 통하여 출력을 예시하였다.

Key words : Logistics-Transportation Model, Distribution Simulator, Logistic Planning.

1. 개 요

물류수송 문제는 최근 국내기업의 물류비용을 줄이기 위한 주요한 문제로 부각되고 있다. 물류수송수단의 활용에 있어서 많은 대안들을 비교할 수 있으며 다양한 선택을 할 수 있다. 예를 들면 자기 회사의 일반 운송방법의 사용, 대외용역 등이 있다. 그리고 수송수단으로 도로 교통, 항공 및 해운 운송 등의 분야마다 다양한 선택을 할 수 있다. 이러한 각 수송수단에 따라서 운송시간, 운송능력, 안전, 운송과정의 추적 및 운송비용 등이 운송수단 선택에 관련된 주요 요인이 된다. 본 연구에서는 일반적인 물류재고-수송문제에서 확률분포를 따르는 연속적인 수요(Continuous Stochastic Demand)와 확률적인 수송시간(Stochastic Transport Time)을 가정하고 수요(Order)간의 상호 교착하지 않는 경우를 가정(Whitin and Hardley)하였다. 즉 다음 요소 중 1 개 이상의 요소이상이 주어질 경우, 1회 운반 량은 확률변수가 된다.

- 수요량(Demand Size)
- 수요간의 간격(Time Between Demand)
- 수요빈도(Number of Demand / Unit Time)

본 연구에서는 제조창고에서 소비자들에게 공급되는 2단계 물류센터간의 물류재고-운송 문제를 다루었으며 운송 량의 크기, 운송시간, 운송수단 등을 고려하여 최소 물류비용을 만족하고 의사결정을 할 수

있도록 하는 문제를 위한 전산 프로그램을 개발하였으며, 이로 인하여 예상되는 물류비의 절감은 물류 시스템 개선에 크게 기여할 것으로 본다.

2. 물류재고-수송수단의 최적선택 모델

본 연구는 물류재고-수송문제에 관련되는 기대비용을 최소화하는 조건에서 발주수량, 운송시간, 운송(수송)수단 선택 등을 산정 하는 문제의 연구이다. 본 문제는 제조업체의 제품구입 및 배분의 문제에 모두 관련되는 문제이다. 물류재고-수송수단의 선택 문제를 위한 모델의 개발과 이의 해를 구하기 위한 전산프로그램을 개발하고 예제를 통하여 해를 구하는 과정을 보였다. 본 모델에서 고려된 비용요소로서 재고유지비용, 발주비용, 물류비용(운송비용), 및 재고부족비용 등을 고려하였으며 이들을 포함한 비용함수는 다음과 같다.

$$C = c_r \times (V + c_i) \times (q/2 + r - \bar{d} \times \bar{t}_i) + c_0 \times D/q + c_i \times D + c_i \times V \times \bar{t}_i \times D + c_s \times (D/q) \times \int_{u=r}^{\infty} (u-r) \times h_i(u) \cdot du \quad \text{-----}(1)$$

여기서,

- C : 연간 총비용
- cr : 재고유지비용
- v : 운송 이전에 발생하는 비용

- cc : 연간 재고유지비용
- cc = cr * (V + ct)
- cs : 재고부족비용
- cti : 운송대안 i에의 해서 운반 시 단위 운반비용 t
- ci : 운송중의 단위 비용 당 재고유지비용
- ic : 단위 기간의 운송중 재고유지 비용
- ic = ci * v
- q : 발주량
- r : 발주점
- \bar{d} : 단위 기간의 수요량
- n : 단위 년간기간수
- D : 연간 수요량 (* n).
- \bar{t}_i : 운송수단 i를 사용시 평균 운송기간
- \bar{u}_i : 평균 운송기간동안의 수요량(* t).
- σ_d : 수요의 표준편차
- σ_{t_i} : 운송시간의 표준편차
- σ_{u_i} : 운송기간의 수요의 표준편차
- f(d) : 수요의 밀도분포함수
- qi(t) : 운송 기간의 수요의 밀도분포함수

위의 비용함수를 최소화하고 문제의 해를 위하여 그림 1과 같이 반복법(Enumerative Method)과 계산상의 시간과 노력을 줄이기 위하여 발견적 방법

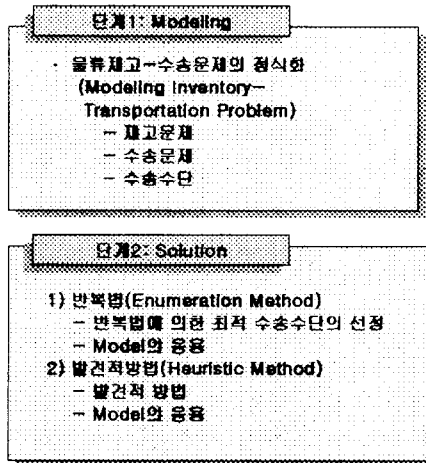


그림 1. 2 단계 물류 수송-재고 모델의 연구

(heuristic Method)을 사용하였다. 먼저 반복법을 의하여 가능한 물류운송 대안을 고려하여 위의 비용함수에 의한 기대비용을 최소화하는 경우를 산출하였다. 이를 위하여 다음과 같은 Data들이 소요된다.

- 물류재고 유지비용(Carrying rate)
- 운송재고 유지비용
- 재고부족비용
- 발주비용
- 제품가치(비용)
- 수요부품

1) 반복법 (Enumeration Method)

모든 운송대안에 대하여 총 물류비용을 산정하여 최

소기대비용의 대안을 선택하는 방법이다. 먼저 각 대안에 대하여 최소비용의 (q, r)를 결정하고 이 경우의 최소 기대비용을 산정하여 비교한다.

$$\frac{\partial C}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial C}{\partial q} = 0 \text{ 에서 } r^*, q^* \text{을 구하고}$$

(r*, q*)은 다음 최적 조건을 만족하므로, (q*, r*)의 값에 따라 최소 기대비용의 조건을 만족하므로 최소 값이 존재한다고 볼 수 있다.

$$A = \frac{\partial^2 C}{\partial q^2}(q^*, r^*) > 0,$$

$$B = \frac{\partial^2 C}{\partial r^2}(q^*, r^*) > 0$$

$$C = \frac{\partial^2 C}{\partial q \partial r}(q^*, r^*) > 0$$

$$A * B - C^2 > 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial q} = (c_r \times (V + c_i)/2) - (c_s \times D/q^2)$$

$$\cdot \int_{u=r}^{\infty} (u-r) \cdot h(u) du - c_0 \times D/q^2 \dots (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial r} = c_r \times (V + c_i) - (c_s \times D/q) \cdot \int_{u=r}^{\infty} h(u) du$$

위의 최적해 (q*, r*)를 구하기 위하여 먼저 운송기간의 수요 분포함수, h(u)를 알아야 한다. 먼저 Simulation의 기준을 만족하는 Sample Size를 구하였으며, 이를 위한 한가지 방법으로 Latine Hyper Cube Sampling 방법을 사용하였다. 운송기간의 수요 분포가 구해지면 반복법(Enumeration Method)에 의해서 최적 해를 구할 수 있다.

위의 과정을 위한 흐름 도를 그림 2와 같이 표시하였으며, 이 흐름 도에 따라서 진산 프로그램을 개발하고 부록에서 Sample Data 및 Output를 보였으며 이를 요약하면 표 1과 같다.

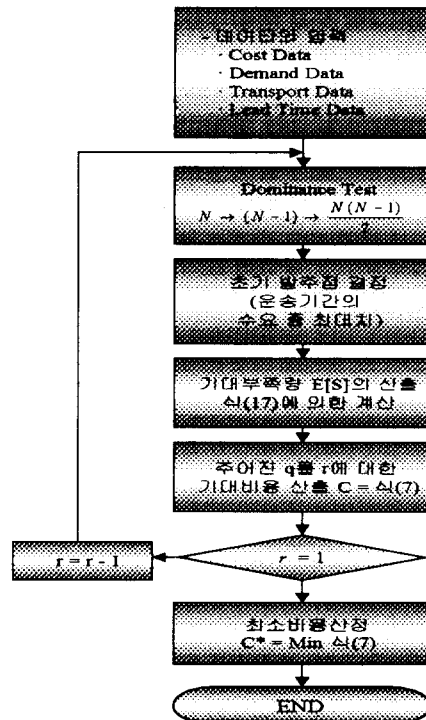


그림 2. 반복법(Enumeration Method)의 흐름도

표 1. 반복법의 예제 출력(Mode 1의 경우)

```

**** TRANSPORT MODE :MODE = 1 ****
REO. SAFETY AVERAGE ORDER TOTAL
PNT STOCK SHORTAGE Q. COST
21. 7.8 .00 284.53 856.69
20. 6.8 .04 284.60 856.20
19. 5.8 .08 284.67 856.70
18. 4.8 .44 285.35 856.53
17. 3.8 .79 286.03 856.36
16. 2.8 2.07 288.44 856.11
15. 1.8 3.33 290.84 856.86
14. .8 5.45 294.93 858.51
    
```

THE BEST SOLUTION IS THE FOLLOWING
 17. 3.8 .79 286.03 856.36

위의 예제에서 각 수송 대안별 최소 기대비용을 산출한 결과를 요약하면 표 2와 같다. 즉 운송대안 3이 최소 기대비용 807.64W/yr로써 최종 선택할 수 있다.

표 2. 반복법에 의한 최소 기대비용 산정 결과

수송대안	최적 주문점	주문량	안전 재고	최소 기대비용	비고
수송대안#1	17	286.03	3.8	856.36	선택
수송대안#2	12	280.28	2.4	1026.95	
수송대안#3	12	286.31	2.4	807.64	
수송대안#4	24	282.58	4.8	947.41	

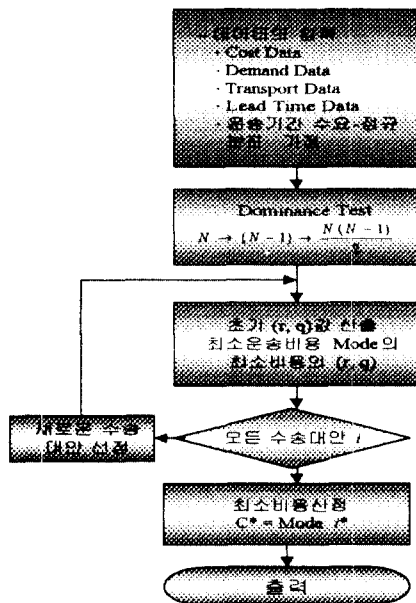


그림 3. 발견적방법(Heuristic method)의 흐름도

즉 운송 대안 3이 최소기대비용 807.64 W/yr로써 최종 선택할 수 있다. 여기서 반복법(Enumeration Method)은 실제문제에 적용할 경우 운송대안이 클수록 계산량은 매우 크게 증대되므로 운송대안의 제한을 받는다는 점이 있다. 이를 극복하기 위하여 다음과 같이 발견적 방법(Heuristic Method)을 개발하였다.

2) 발견적 방법(Heuristic Method)

위에서 전개한 반복법(Enumeration Method)을 개선하기 위하여 발견적 방법을 사용하였다. 먼저 운송기간의 수요분포를 정규분포로 가정하고 또한 모든 운송대안을 모두 고려하는 대신에 각 대안에 따른 총 기대비용 예측을 하고 최소값을 가지고 대안을 선정하는 방법이다. 이는 그림 3과 같이 3 단계에 따라 산정 된다.

단계 1 : 각 대안의 최소기대비용 조건을 만족시키는 q 및 r값을 구한다. 이 단계에서는 최적 해를 구하기 전의 초기 값을 구하는 과정이다.

이를 위하여 중 수요분포 예측을 위하여 정규 분포를 가정하여 다음과 같은 식을 유도하였다.

$$\frac{\partial C}{\partial q} = (c_r \times (V + c_p)/2) - c_0 \times D/q - (c_s \times D/q^2) \cdot \int_{u=r}^{\infty} \frac{(u-r) \cdot e^{-\frac{1}{2}[(u-\bar{u})/\sigma_u]^2}}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} \cdot \sigma_u} du \quad (4)$$

$$\frac{\partial C}{\partial r} = c_r \times (V + c_p) - (c_s \times D/q) \cdot \int_{u=r}^{\infty} \frac{e^{-\frac{1}{2}[(u-\bar{u})/\sigma_u]^2}}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} \cdot \sigma_u} du \quad (5)$$

여기서 $\frac{\partial C}{\partial q} = 0$, $\frac{\partial C}{\partial r} = 0$ 을 동시에 만족하는 q^* , 및 r^* 가 특정 운송대안에 대한 최적해가 될 수 있다(최적화조건 만족). 운송기간 수요분포를 구하기 위하여 다음과 같이 정규분포를 이용한 개략식을 사용하였다.

$$\bar{\mu} = \bar{d} \times \bar{t}$$

$$\sigma_u^2 = \bar{t} \times \sigma_d^2 + \bar{d}^2 \times \sigma_t^2$$

식 (4) 및 (5)으로부터 (q, r)의 초기 값을 $3\sigma n$ 에 가까운 최대 수요량을 초기 r값으로 하여 식(4)에 의하여 q값을 산정 하여 총비용을 산정하고 이 r를 1씩 감소시키면서 되풀이한다. 특정 대안의 최소비용의 (q, r)의 값을 구한다. 이때 부족 수요가 발생되면 다음 식에 의하여 부족 재고량을 산출한다.

$$E(S) = \int_{u=r}^{\infty} (u-r) \cdot h(u) du$$

단계 2 : 단계1에서 구한 (q*, r*)의 값을 이용해 다른 대안의 경우에도 적용하여 최소 기대 비용을 각각 산출한다.

단계 3 : 단계 2에서 산출한 경과를 이용하여 최소 기대비용의 운송대안을 최적대안으로 선정한다.

위의 3 단계에 따라 최적 운송대안을 구하는 응용예를 앞의 예제를 적용한 결과를 표 3과 같이 요약하였다.

본 발견적 방법(Heuristic Method)의 계산을 위하여 전산프로그램이 개발되었으며 Sample 출력을 표 3에서와 같이 정리하였다. 이 2가지 방법 모두 동일한 예제에 적용한 결과, Heuristic방법에 의한 결과 운송대안 1이 총 운송기대비용을 최소화하는 최적대안으로 선택되었다. 반복법의 결과는 대안 2가 최적

대안으로 선택되었다. 발견적 방법은 재 주문점 (Reorder Point) $q=30$, $r=274.80$ 의 결과를 얻었으며 이 경우 총비용이 879.57₩이 산출되었다. 이 총비용은 운송기간의 수요분포를 정규분포로 가정하고 구한 값이다. 본 연구에서 개발된 발견적 방법이 반복법(Enumeration)보다 적은 계산시간으로 최적 해를 구할 수 있음을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 지금까지의 물류재고 및 물류-수송문제를 통합한 통합 물류-수송문제의 최적화 문제를 다루었다. 우선 이러한 문제를 모델링하고 그 최적 해를 구하기 위한 전산프로그램과 해를 구하는 문제를 함께 다루었다. 본 연구에서 사용한 최적화 문제는 관련 물류 및 수송대안의 자료로부터 총 물류재고-수송정책을 위한 파라메타를 구하였다. 이를 위하여 반복법(Enumeration Method)과 2가지의 발견적 방법(Heuristic Method)으로 접근하였으며 이를 위한 전산프로그램을 개발하여 사용하였으며, 부록에 이를 정리하였다. 위의 2가지 접근방법을 실제문제에 적용하여 그 결과를 비교하였으며 Sample 출력을 부록에 첨부하였다.

참 고 문 헌

1. C. Das, " Choice of Transport Service", Journal of Logistics and Transportation Review, Vol.10, No.2, 1985.
2. Eric D. Dahse and Kenneth R. Morrison, "Using Transportation Solution for a Facility Waters", International Journal of Computers and Industrial Engineering, Vol. 31, No.1/2, pp.63~67,1996.
3. Jen S. Shang and Carolyan K. Cuff "Multi-criteria Pickup and Delivery Problem with

운송대안	주문점	주문량	안전재고	최소기대비용 (₩/yr)	비고
1	30.00	274.80	16.80	879.57	최적대안
2	18.00	271.32	8.40	1005.64	
3	18.00	295.21	8.40	1005.64	

Transportation Opportunity", International Journal of Computers and Industrial Engineering, Vol.30, No.4, pp.63, 1~645, 1996.

4. P. Scobey and D. G. Kabe, "Direct Solution to Some Multi-Dimensional Transportation Problem", Trans. Sci. Vol. 15, No. 1 pp.1~ 15, 1981.

부 록 : 예제 출력

*** TRANSPORT MODE :MODE=1 ***

```
THIS IS THE DEMAND DISTRIBUTION
DEMANDS
5. 7.
PROBABILITIES
.50 .50
THIS IS THE LEAD TIME DISTRIBUTION
LEAD TIMES
1. 3.
PROBABILITIES
.40 .60
THE LEAD TIME DEMAND DISTRIBUTION
DEMAND DEMPROB FREQ
0 .000000 .0
5 .526850 10537.0
6 .000000 .0
7 .177400 3548.0
8 .000000 .0
9 .000000 .0
10 .000000 .0
11 .000000 .0
12 .000000 .0
13 .000000 .0
14 .000000 .0
15 .124200 2484.0
16 .000000 .0
17 .123900 2478.0
18 .000000 .0
19 .042700 854.0
20 .000000 .0
21 .004950 99.0
```

STANDARD

```
DISTRIBUTION MEAN DEV. VARIANCE
DEMAND 6.00 1.00 1.00
LEAD TIME 2.20 .98 .96
LEAD TIME DEM. 13.20 6.06 36.76
SIMULATED
LEAD TIME DEM. 8.76 5.14 26.47
```

```
CARRYING STOCKOUT ORDERING TRANSPORT MEAN
RATE COST COST RATE DEMAND
.250 1.00 10.0 .320 6.0
```

```
DEMAND MEAN LEADTIME MEAN
VARIANCE LEADTIME VARIANCE DEM/LDTE
1.00 2.2 1.0 13.2
```

```
DEM/LDTE ITEM CARRYING
VARIANCE VALUE COST
36.76 2.00 .001
```

```
REORDER SAFETY AVERAGE ORDER TOTAL
POINT STOCK SHORTAGE QUANTITY COST
21. 7.8 .00 274.80 874.35
20. 6.8 .04 274.87 873.81
19. 5.8 .08 274.94 873.27
18. 4.8 .46 275.59 873.06
17. 3.8 .83 276.25 872.86
16. 2.8 2.18 278.58 873.64
15. 1.8 3.50 280.90 874.40
14. .8 5.72 284.84 876.11
```

```
THE BEST SOLUTION IS THE FOLLOWING
17. 3.8 .83 276.25 872.86
```

*** TRANSPORT MODE :MODE=2 ***

THIS IS THE DEMAND DISTRIBUTION

```
DEMANDS
5. 7.
```

PROBABILITIES

.50 .50
THIS IS THE LEAD TIME DISTRIBUTION
LEAD TIMES

1. 2.
PROBABILITIES
.60 .40

THIS IS THE LEAD TIME DEMAND DISTRIBUTION

DEMAND	DEMPROB	FREQ
0	.000000	.0
5	.600250	12005.0
6	.000000	.0
7	.201350	4027.0
8	.000000	.0
9	.000000	.0
10	.112450	2249.0
11	.000000	.0
12	.073700	1474.0
13	.000000	.0
14	.012250	245.0

DISTRIBUTION	MEAN	DEV.	VARIANCE
DEMAND	6.00	1.00	1.00
LEAD TIME	1.40	.49	.24
LEAD TIME DEMAND	8.40	3.17	10.04
SIMULATED			
LEAD TIME DEMAND	6.59	2.39	5.69

CARRYING RATE	STOCKOUT COST	ORDERING COST	TRANSPORT RATE
.250	1.00	10.0	.320
MEAN DEMAND	MEAN VARIANCE	LEADTIME	LEADTIME VARIANCE
6.0	1.00	1.4	.2
MEAN DEM/LDTE	MEAN VARIANCE	ITEM VALUE	CARRYING COST
8.4	10.04	2.00	.001

REORDER POINT	SAFETY STOCK	AVERAGE SHORTAGE	ORDER QUANTITY	TOTAL COST
14.	5.6	.00	274.80	869.57
13.	4.6	.10	274.97	869.08
12.	3.6	.20	275.14	868.60
11.	2.6	.88	276.32	868.70
10.	1.6	1.55	277.49	868.80
9.	.6	3.09	280.18	869.78

THE BEST SOLUTION IS THE FOLLOWING
12. 3.6 .20 275.14 868.60

DISTRIBUTION	MEAN	DEV.	VARIANCE
DEMAND	6.00	1.00	1.00
LEAD TIME	2.20	.98	.96
LEAD TIME DEM.	13.20	6.06	36.76
SIMULATED			
LEAD TIME DEM.	8.76	5.14	26.47

CARRYING RATE	STOCKOUT COST	ORDERING COST	TRANSPORT RATE	MEAN DEMAND
.250	1.00	10.0	.320	6.0
DEMAND	MEAN VARIANCE	LEADTIME	MEAN VARIANCE	LEADTIME
1.00	2.2	1.0	36.76	13.2
DEMAND	MEAN VARIANCE	ITEM VALUE	CARRYING COST	
8.76	36.76	2.00	.001	

REORDER POINT	SAFETY STOCK	AVERAGE SHORTAGE	ORDER QUANTITY	TOTAL COST
21.	7.8	.00	274.80	874.35
20.	6.8	.04	274.87	873.81
19.	5.8	.08	274.94	873.27
18.	4.8	.46	275.59	873.06
17.	3.8	.83	276.25	872.86
16.	2.8	2.18	278.58	873.64
15.	1.8	3.50	280.90	874.40
14.	.8	5.72	284.84	876.11

THE BEST SOLUTION IS THE FOLLOWING
17. 3.8 .83 276.25 872.86

*** TRANSPORT MODE :MODE=2 ***

THIS IS THE DEMAND DISTRIBUTION

DEMANDS

5. 7.
PROBABILITIES
.50 .50

THIS IS THE LEAD TIME DISTRIBUTION
LEAD TIMES

1. 2.
PROBABILITIES
.60 .40

THIS IS THE LEAD TIME DEMAND DISTRIBUTION

DEMAND	DEMPROB	FREQ
0	.000000	.0
5	.600250	12005.0
6	.000000	.0
7	.201350	4027.0
8	.000000	.0
9	.000000	.0
10	.112450	2249.0
11	.000000	.0
12	.073700	1474.0
13	.000000	.0
14	.012250	245.0

DISTRIBUTION	MEAN	DEV.	VARIANCE
DEMAND	6.00	1.00	1.00
LEAD TIME	1.40	.49	.24
LEAD TIME DEMAND	8.40	3.17	10.04
SIMULATED			
LEAD TIME DEMAND	6.59	2.39	5.69

CARRYING RATE	STOCKOUT COST	ORDERING COST	TRANSPORT RATE
.250	1.00	10.0	.320
MEAN DEMAND	MEAN VARIANCE	LEADTIME	LEADTIME VARIANCE
6.0	1.00	1.4	.2
MEAN DEM/LDTE	MEAN VARIANCE	ITEM VALUE	CARRYING COST
8.4	10.04	2.00	.001

REORDER POINT	SAFETY STOCK	AVERAGE SHORTAGE	ORDER QUANTITY	TOTAL COST
14.	5.6	.00	274.80	869.57
13.	4.6	.10	274.97	869.08
12.	3.6	.20	275.14	868.60
11.	2.6	.88	276.32	868.70
10.	1.6	1.55	277.49	868.80
9.	.6	3.09	280.18	869.78

THE BEST SOLUTION IS THE FOLLOWING
12. 3.6 .20 275.14 868.60