

dump truck 운반과 belt 운반의 cost 비교(下)

김 성 범
<雙龍洋灰東海工場 採鑛課長代理>

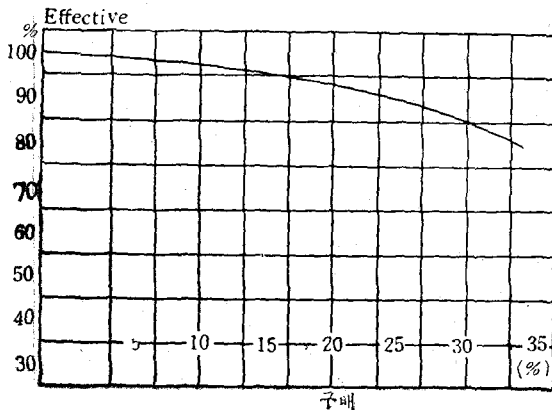
3. belt conveyor 운반

單位 容積當 重量 1.5ton/m³의 礦石을 布設 角度 20° 및 30°에서 180m/min의 속도로 운반 할 때 belt의 폭에 따른 時間當 운반량은 <表-13>과 같다.

<表-13>

belt 폭	운반량 (ton/h)	
	布設角度	
	20°	30°
B=650mm	568	688
B=800mm	885	1,080
B=1,000mm	1,430	1,750

belt는 그 傾斜角度의 증대에 따라 운반 능력이 감소되나 DIN 22101에 의하면(<그림-7>) 이러한 운반량의 감소는 27°에서 약 10%에 불과하



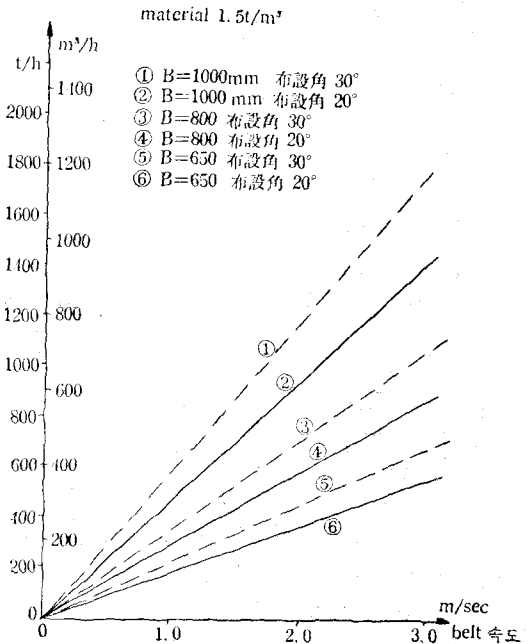
<그림-7> belt 운반에서 운반 구배에 따른 운반량 감소(DIN 22101)

므로 여기서는 이를 무시하고 그대로 belt 巾에 따른 max. 운반 용량을 <表-14>와 같이 조정하여 산출을 전개하였다.

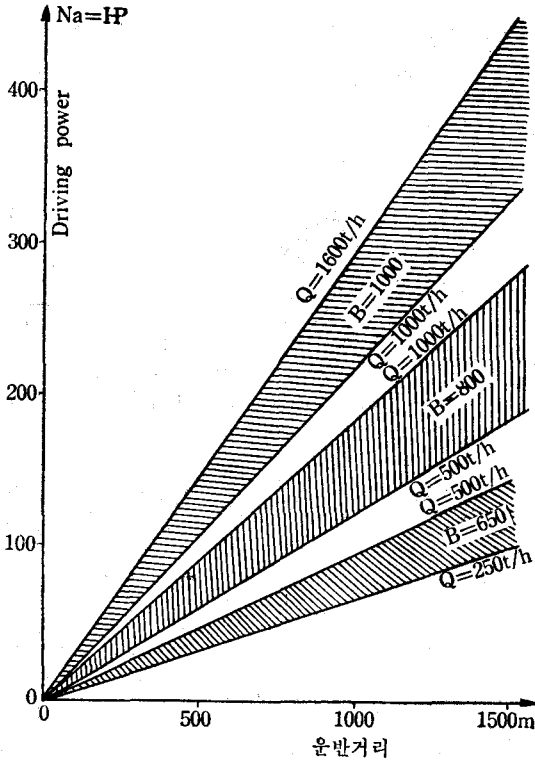
<表-14>

belt 巾	운반용량(ton/h)
B=650mm	max. 500
B=800mm	max. 1,000
B=1,000mm	max. 1,600

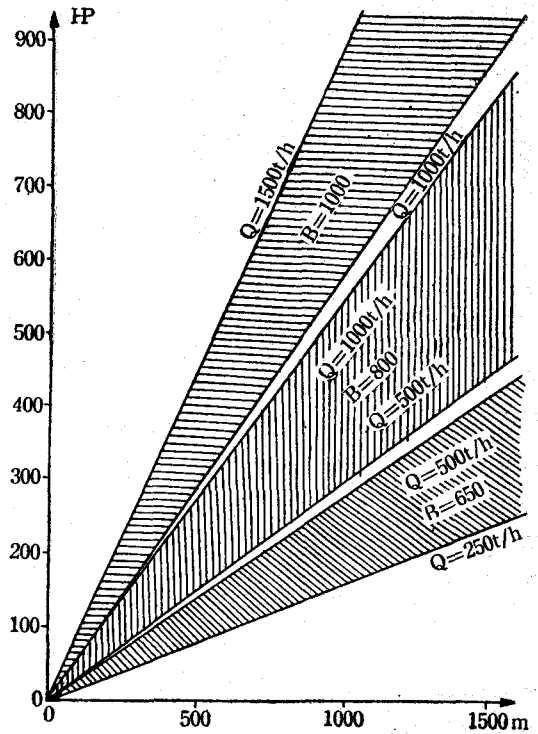
belt conveyor의 馬力計算 역시 DIN 22101의



<그림-8> belt 운반: belt 속도와 운반량 관계



<그림-9> 水平 belt 운반시 belt 폭, 운반량 및 운반 거리와 driving power 關係



<그림-10> 10% 구배 belt 운반: belt 폭, 운반량 및 운반 거리와 driving power 關係

算式에 따라

$$Na = \frac{cfs}{270} (3.6 G_m \cdot v + Q) + \frac{Q \cdot H}{270} \quad (\text{HP})$$

으로 계산하였다. 여기서

Na =belt conveyor의 HP

c =belt의 走行 저항

f =pulley idler의 회전 저항

s =운반 거리 (m)

G_m =belt 및 idler의 회전 부분의 重量(kg)

v =belt의 走行速度 m/sec

Q =운반량 ton/h

H =운반高 m

DIN 22101의 規定에 의하면

운반거리 $s=200\text{m}$ 300m 400m 500m 일때

$c=1.4$ 1.2 1.1 1.05 이며

Viering의 계산에 의하면

$s=200$ 300 400 500 $1,000$ $1,500\text{m}$ 일때

$c=1.45$ 1.31 1.25 1.20 1.09 1.06 으로

되어 있으나 여기서는 계산의 편의상

$s=200\text{m} \sim 1,500\text{m}$ 까지 일률적으로

$c=1.3$ 을 代入하였으며

$f=0.025$

G_m 는 $B=650\text{mm}$ 30kg/m

$B=800\text{mm}$ 50kg/m

$B=1,000\text{mm}$ 80kg/m 를 적용하였다.

또 운반 속도 v 는 Scharf의 $6 \sim 8\text{m/sec}$ 까지 가능하다는 주장에 反하여 일반적인 경우를 고려하여 3m/sec 를 적용하였다 <그림-8>.

운반高 H 는

belt의 경사 각도 5% 시 (3°) $H=0.05\text{ s}$

10% " (6°) $H=0.10\text{ s}$

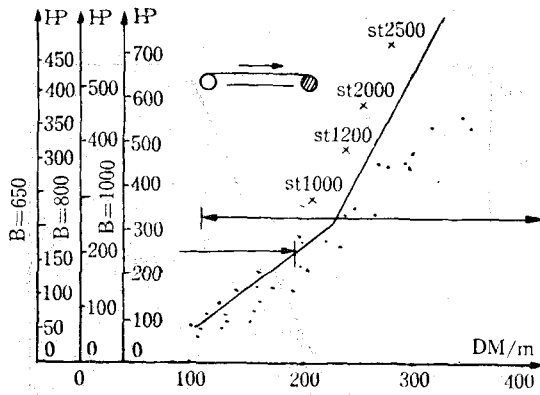
32.5% " (18°) $H=0.31\text{ s}$

이므로 belt의 HP는

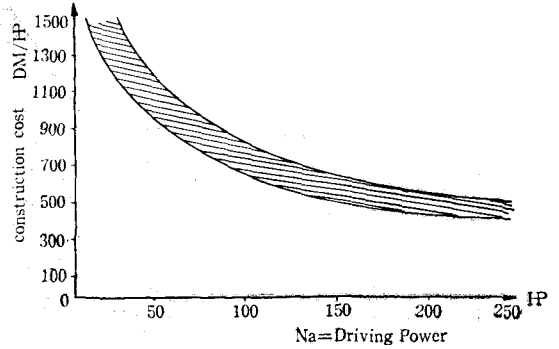
<表-15>

① 水平 운반時

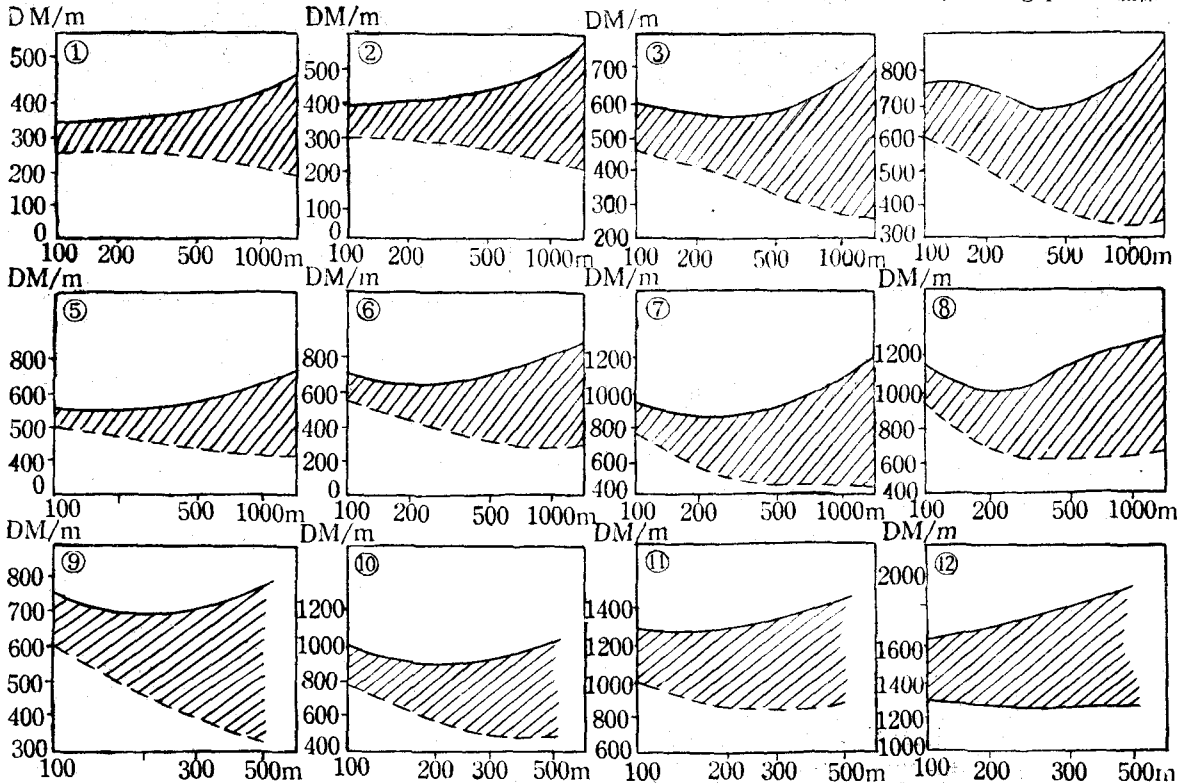
t/h	B=650mm	B=800mm	B=1,000mm
250	$Na=0.069\text{ s}$		
500	$Na=0.099\text{ s}$	$Na=0.125\text{ s}$	
1,000		$Na=0.186\text{ s}$	$Na=0.222$
1,600			$Na=0.293$



<그림-11> driving power 와 belt 價格關係
(maker 提示值를 綜合)



<그림-12> driving and tension station 을 위한
construction cost 와 driving power 關係



<그림-13> 운반 거리와 total construction cost 關係

- ① B=650 Q=250 t/h 水平 ⑤ B=650 Q=250 t/h 10% ⑨ B=650 Q=250 32.5%
 ② B=650 Q=500 t/h 水平 ⑥ B=650 Q=500 t/h 10% ⑩ B=650 Q=500 32.5%
 ③ B=800 Q=1,000 t/h 水平 ⑦ B=800 Q=1,000 t/h 10% ⑪ B=800 Q=1,000 32.5%
 ④ B=1,000 Q=1,600 t/h 水平 ⑧ B=1,000 Q=1,600 t/h 10% ⑫ B=1,000 Q=1,600 32.5%

<表-16> ② 5% 경사 운반時

t/h	B=650mm	B=800mm	B=1,000mm
250	Na=0.116 s		
500	Na=0.1915 s	Na=0.2175 s	
1,000		Na=0.371 s	Na=0.407 s
1,600			Na=0.588 s

<表-17> ③ 10% 경사 운반時

t/h	B=650mm	B=800mm	B=1,000mm
250	Na=0.162 s		
500	Na=0.284 s	Na=0.31 s	
1,000		Na=0.556 s	Na=0.592 s
1,600			Na=0.883 s

<表-18> ④ 32.5% 경사 운반時(약 18°)

t/h	B=650mm	B=800mm	B=1,000mm
250	Na=0.357 s		
500	Na=0.672 s	Na=0.698 s	
1,000		Na=1.33 s	Na=1,366 s
1,600			Na=2,123 s

belt conveyor의 IP과 driving pulley의 有効張力과의 관계식

$$P = \frac{75 \cdot Na}{v} = \frac{75 \cdot Na}{3} = 25 \cdot Na$$

과 $P = T_1 - T_2$ T_1 =緊張側 belt 張力 (kg)

T_2 =弛緩側 belt 張力 (kg)

P =belt의 有効 張力 (kg)

$$T_1 = P + T_2$$

$$= P + P \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1}$$

$$= P \left(1 + \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1} \right) \text{ (kg)}$$

지금 belt와 pulley의 접촉角

$\alpha = 210^\circ$, belt와 pulley間的 마찰 저항을

$\mu = 0.3$ 이라고 하면

$$T_1 = P_a \cdot 1.5$$

$$= 37.5 \cdot Na \text{ (kg)}$$

belt의 強度에 관한 安全係數를 12, belt의帆布의 強度를 k_2 로 하면

$$T_1 = \frac{B'k_2}{12} \quad B' = \text{belt 巾 (cm)}$$

K_2 =belt帆布의 強度 (kg/cm)

$$= 37.5 Na \text{ (kg)}$$

$$K_2 = \frac{37.5 Na \cdot 12}{B'}$$

$$= \frac{450 \cdot Na}{B'}$$

여기서 belt巾에 따른 強度 및 ply數를 구하고 maker의 제공 data에 의하여 belt의材質別 cost(DM/m)를 종합하여 다음과 같이 graph를 작성하였다 <그림-11>.

이하의 계산에서는 계산의 편의상 graph上的 直線을 基準하였다.

driving pulley, E-motor 및 기타의 驅動部의 construction cost는 maker의 提供 data에 따랐으며 기타 각종 roller 및 구조물에 대한 cost는 <그림-12>

B=650mm 일 때 150 DM/m

B=800mm 일 때 180 DM/m

B=1,000mm 일 때 200DM/m

를 적용하였다.

이상의 계산을 통하여 운반 距離에 따른 belt의 construction cost를 圖示하면 <그림-13>과 같다. 여기서 다시 계산의 편의상 水平 및 10% 경사 운반의 경우는 500 m를, 32.5% 경사 운반의 경우는 200 m를 기준으로 <表-19>와 같이 적용 하였다.

<表-19>

belt 巾 (mm)	운반용량 (t/h)	belt 경사	※ 註 단위長當 construction cost (DM/m)	belt 가져 (DM/m)	construction cost 計 (DM/m)
650	250	水平	240	160	400
650	500	"	260	200	460
800	1,000	"	330	240	570
1,000	1,600	"	380	290	670
650	250	10%	290	260	550
650	500	"	330	360	690
800	1,000	"	450	470	920
1,000	1,600	"	640	510	1,150
650	250	32.5%	480	220	700
650	500	"	580	360	940
800	1,000	"	830	470	1,300
1,000	1,600	"	1,240	510	1,750

註: belt를 除外한 construction cost, 即 E-motor frame, pulley, roller 등

1) 勞力費

① belt工: 2,000 m 當 1²

② 修理 및 整備工: construction cost의 0.7%/year

③ 관리비 割當: ①項 및 ②項의 合計의 10%

2) capital cost

① 감가 상각비: 상각 年數

1 交代 作業時 20年

2 " " 10年

② 利子: construction cost의 7%/year

③ 保險料: construction cost의 1%

3) 재료비

① belt의 소모:

<表-20>

B	mm	650	650	800	1,000
Q	ton	2,500,000	5,000,000	10,000,000	16,000,000
용량	t/h	250	500	1,000	1,600

※ tagger 에 의하면

B	mm	750	1,050	1,200
Q	ton	3,600,000 ~14,200,000	3,100,000 ~28,100,000	10,600,000 ~24,000,000

※ Stumpf 에 의하면

B	mm	650	1,200
Q	ton	6,500,000	11,000,000

② 수선 재료비 및 윤활유 : 0.8+0.2%/year

4) 動力費

① 電力料 : 0.044DM/kwh

5) 財産稅 : 1%/year

<表-21>

① 수평 belt 운반 (운반 거리 : 1,000 m)

belt 巾	mm	650	650	800	1,000
운 반 용 량	t/h	250	500	1,000	1,600
belt 購 入 價	DM	400,000	460,000	570,000	670,000
기 타 construction cost	"	240,000	260,000	330,000	380,000
I 勞 力 費					
belt 工	DM/year	7,500	7,500	7,500	7,500
修 理 · 整 備 工	"	2,800	3,220	3,990	4,690
小 計	"	10,300	10,720	11,490	12,190
관 리 비 割 當	"	1,030	1,072	1,149	1,219
計	"	11,330	11,792	12,639	13,409
1 交代 (1,600 h) 작업시	DM/h	} 7.05	} 7.35	} 7.90	} 8.40
2 交代 (3,200 h) 작업시	"				
II capital cost					
1 交代 (1,600 h) 작업시	DM/year	12,000	13,000	16,500	19,000
減 價 償 却 費	"	28,000	32,200	39,900	46,900
利 子	"	4,000	4,600	5,700	6,700
保 險 料	"	44,000	49,800	62,100	72,600
計	DM/h	27.50	31.20	38.30	45.30
2 交代 (3,200 h) 작업시	DM/year	24,000	26,000	33,000	38,000
減 價 償 却 費	"	28,000	32,200	39,900	46,900
利 子	"	8,000	9,200	11,400	13,400
保 險 料	"	60,000	67,400	84,300	98,300
計	DM/h	18.75	21.05	26.35	30.75
III 材 料 費					
belt 소 모 비	DM/h	16.00	20.00	24.00	29.00
기 타 材 料 費	DM/year	4,000	4,600	5,700	6,700
	DM/h	2.50	2.87	3.56	4.18
IV 動 力 費					
belt	HP	70	100	186	293
	DM/h	3.08	4.40	8.20	12.90
V 財 産 稅					
	DM/year	4,000	4,600	5,700	6,700
1 交代 (1,600 h) 작업시	DM/h	2.50	2.87	3.56	4.18
2 交代 (3,200 h) 작업시	"	1.25	1.44	1.78	2.09

M cost 綜合					
1 交代 (1,600 h) 作業 시					
勞力費	DM/h	7.05	7.35	7.90	8.40
capital cost	"	27.50	31.20	38.80	45.30
材料費 { belt	"	16.00	20.00	24.00	29.00
기타	"	2.50	2.87	3.56	4.18
動力費稅	"	3.08	4.40	8.20	12.90
財產稅	"	2.50	2.87	3.56	4.18
計	{ "	58.63	68.69	86.02	103.96
	DM/t	0.235	0.137	0.086	0.065
* 勞力費	%	12.00	11.00	9.20	8.10
belt 소모	"	27.30	29.20	28.00	28.00
capital cost	"	47.00	45.50	45.10	44.00
2 交代 (3,200 h) 作業 시					
勞力費	DM/h	7.05	7.35	7.90	8.40
capital cost	"	18.75	21.05	26.35	30.75
材料費 { belt	"	16.00	20.00	24.00	29.00
기타	"	2.50	2.87	3.56	4.18
動力費稅	"	3.08	4.40	8.20	12.90
財產稅	"	1.25	1.44	1.78	2.09
計	{ "	48.63	57.11	71.79	87.32
	DM/t	0.195	0.114	0.072	0.054

<表-22>

② 10% 경사 belt 운반

belt 巾	mm	650	650	800	1,000
운반 용량	t/h	250	500	1,000	1,600
belt 購入價	DM	550,000	690,000	920,000	1,150,000
기타 construction cost	"	290,000	330,000	450,000	640,000
I 勞力費					
belt 工	DM/year	7,500	7,500	7,500	7,500
修理·整備 工	"	3,850	4,830	6,440	8,050
小計當	"	11,350	12,330	13,940	15,550
관리비割當	"	1,135	1,233	1,394	1,555
計	{ "	12,485	13,563	15,334	17,105
	DM/h	7.80	8.45	9.60	10.70
II capital cost					
1 交代 (1,600 h) 作業 시					
減價償却費	DM/year	14,500	16,500	22,500	32,000
利子	"	38,500	48,300	64,400	80,500
保險料	"	5,500	6,900	9,200	11,500
計	{ "	58,500	71,700	96,100	124,000
	DM/h	36.50	44.70	60.00	77.50
2 交代 (3,200 h) 作業 시					
減價償却費	DM/year	29,000	33,000	45,000	64,000
利子	"	38,500	48,300	64,400	80,500
保險料	"	11,000	13,800	18,400	23,000
計	{ "	78,500	95,100	127,800	167,500
	DM/h	24.50	28.75	39.90	52.25

Ⅲ 材 料 費					
belt 소 모 비	DM/h	26.00	36.00	47.00	51.00
수 선 재 료 비	DM/year	5,500	6,900	9,200	11,500
計	DM/h	3.43	4.31	5.82	7.18
Ⅳ 動 力 費	belt (HP)	162	284	556	885
	DM/h	7.13	12.50	24.50	39.00
Ⅴ 財 産 稅	DM/year	5,500	6,900	9,200	11,500
1 交 代 (1,600 h) 작 업 시	DM/h	3.43	4.31	5.82	7.18
2 交 代 (3,200 h) 작 업 시	"	1.72	2.16	2.91	3.59
Ⅵ cost 綜 合					
1 交 代 (1,600 h) 작 업 시					
勞 力 費	DM/h	7.80	8.45	9.60	10.70
capital cost	"	36.50	44.70	60.00	77.50
材 料 費 {belt	"	26.00	36.00	47.00	51.00
belt 除 外	"	3.43	4.31	5.82	7.18
動 力 費	"	7.13	12.50	24.50	39.00
財 産 稅	"	3.43	4.31	5.82	7.18
計	{ DM/t	84.29	110.27	152.74	192.56
	{ DM/t	0.338	0.220	0.153	0.120
※ 勞 力 費	%	9.35	7.50	6.30	5.55
belt 소 모	"	30.80	32.60	30.70	26.50
capital cost	"	43.30	39.80	39.20	40.30
2 交 代 (3,200 h) 작 업 시					
勞 力 費	DM/h	7.80	8.45	9.60	10.70
capital cost	"	24.50	28.75	39.90	52.25
材 料 費 {belt	"	26.00	36.00	47.00	51.00
기 타	"	3.43	4.31	5.82	7.18
動 力 費	"	7.13	12.50	24.50	39.00
財 産 稅	"	1.72	2.16	2.91	3.59
計	{ DM/t	70.58	91.17	129.73	163.72
	{ DM/t	0.283	0.183	0.130	0.102

<表-23>

③ 32.5% 경사 belt 운반

belt 巾	mm	650	650	800	1,000
운 반 용 량	t/h	250	500	1,000	1,600
construction cost	{belt 包含	DM	700,000	940,000	1,300,000
	{belt 除外	"	480,000	580,000	830,000
Ⅰ 勞 力 費					
belt 工	DM/year	7,500	7,500	7,500	7,500
修 理 · 整 備 工	"	4,900	6,580	9,100	12,250
小 計	"	12,400	14,080	16,600	19,750
관 리 비 割 當	"	1,240	1,408	1,660	1,975
計	"	13,640	15,488	18,260	21,725
1 交 代 (1,000 h) 작 업 시	DM/h	8.52	9.70	11.40	13.60

II capital cost						
減價償却費	DM/year	24,000	29,000	41,500	62,000	
利子	"	49,000	65,800	91,000	122,500	
保險料	"	7,000	9,400	13,000	17,500	
計	"	80,000	104,200	145,500	202,000	
1交代(1,600h)작업시	DM/h	50.00	65.20	91.00	126.20	
III 材料費						
belt購入價	DM	220,000	360,000	470,000	510,000	
belt소모비	DM/h	22.00	36.00	47.00	51.00	
수선재료비 및 운할유	DM/year	7,000	9,400	13,000	17,500	
計	DM/h	4.38	5.88	8.12	10.90	
IV 動力費						
belt HP	1,000m/h	357	672	1,330	2,120	
動力費	DM/h	15.70	29.70	58.50	93.50	
V 財産稅						
	DM/year	7,000	9,400	13,000	17,500	
	DM/h	4.38	5.83	8.12	10.90	
VI cost 綜合						
勞力費	DM/h	8.52	9.70	11.40	13.60	
capital cost	"	50.00	65.20	91.00	126.20	
材料費 { belt	기타	"	22.00	36.00	47.00	51.00
		"	4.38	5.88	8.12	10.90
動力費稅	"	15.70	29.70	58.50	93.50	
財産稅	"	4.38	5.88	8.12	0.90	
計	{	"	104.98	152.36	244.14	306.10
		DM/t	0.420	0.305	0.224	0.191
※ 勞力費	%	8.10	6.35	5.10	4.44	
belt 소모	"	21.00	23.50	21.00	16.70	
capital cost	"	47.50	42.80	40.60	41.30	

4. dump truck 및 belt conveyor의 운반 cost 比較.

dump truck 운반시 그 투자액은 그림에서 平均하였으며 그 외곽 table에서 산출된 장비 투자 및 construction cost를 使用하여 dump truck 및 belt conveyor 운반 cost를 比較하였다.

<그림-15, 16, 17>은 truck 용량, belt巾, 운반 거리 및 도로 구매에 따른 truck 운반과 belt 운반시의 investment amounts 비교이다. dump truck의 경우 운광路 開設費는 考慮하지 않았다.

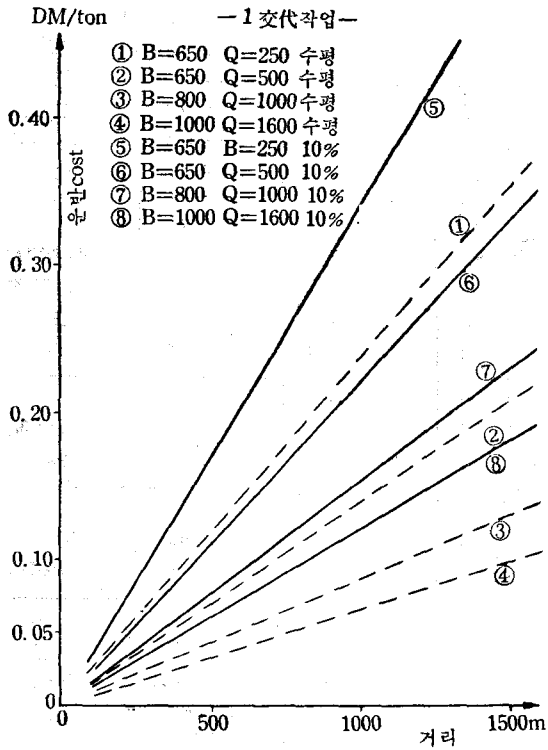
여기서 dump truck 운반의 경우 투자액이 同량의 운광량 및 운반 거리에서 belt conveyor의 운반時보다 높음을 알 수 있다.

即 $Q=500$ t/h, $S=1,000$ m에서 dump truck은 $DM 800,000$, $B=650$ mm의 belt에 있어서 는 $DM 460,000$ 으로 57.5%에 불과하다.

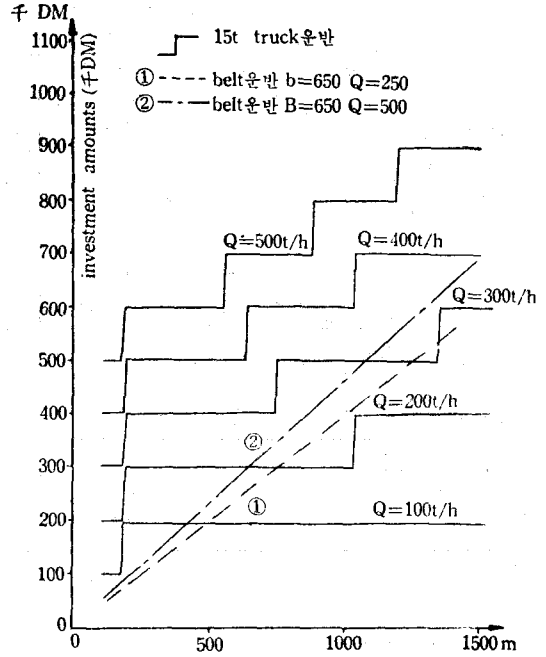
$Q=250$ t/h, $S=1,000$ m의 水平 운반시 15 to² dump truck의 ton當 운반 cost는 0.50 DM/ton, $B=650$ mm belt conveyor에서는 0.235 DM/ton으로 0.265 DM/ton의 差異를 나타낸다. 특히 이러한 경향도 경사 운반시에 더욱 크게 나타난다.

여기서 다시 勞力費가 全體 cost에서 차지하는 비율을 比較하여 보면 다음과 같다.

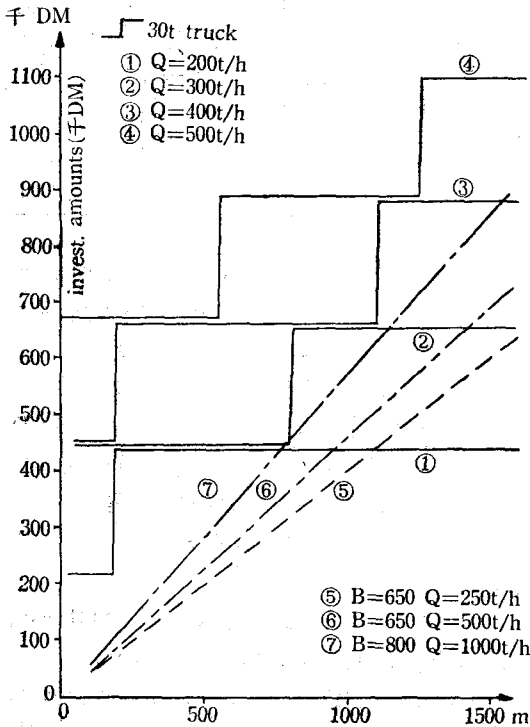
即 1交代 作業時 dump truck 운반 cost에서는 25~35.6%를 차지하며 belt 운반시는 4~12%를 차지함으로써 belt 운반시 勞力費의 比率은



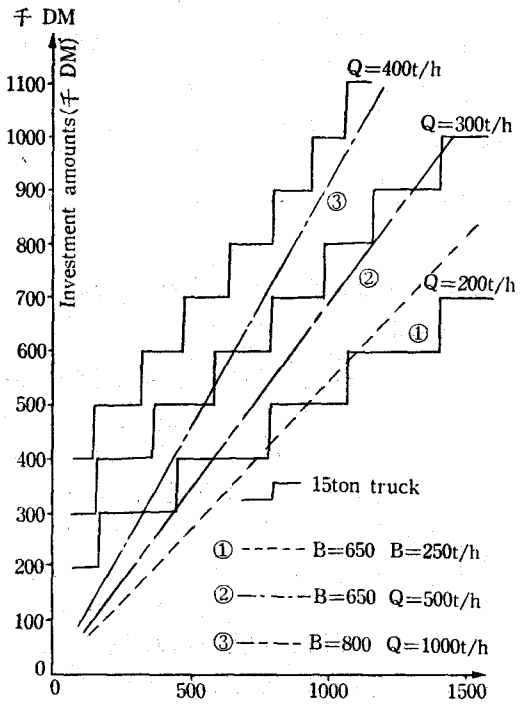
<그림-14> 운반 거리와 운반 cost 關係



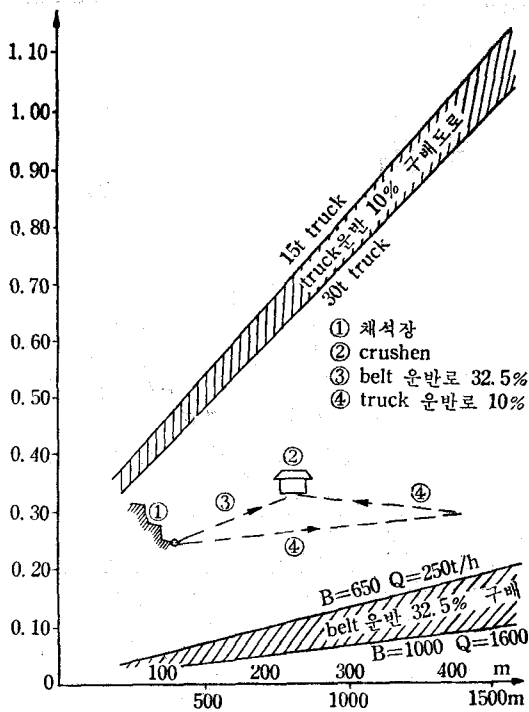
<그림-15> 水平 운반 truck 및 belt 운반 투자 비교 (I)



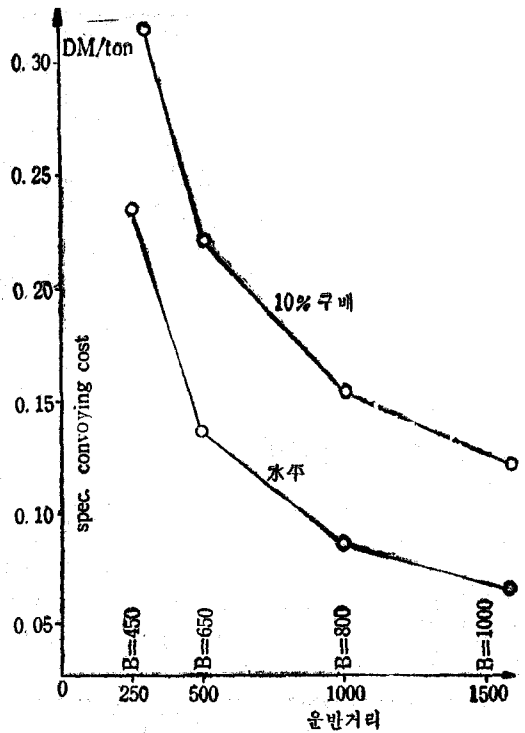
<그림-16> 水平 운반 truck 및 belt 운반 투자 비교 (II)



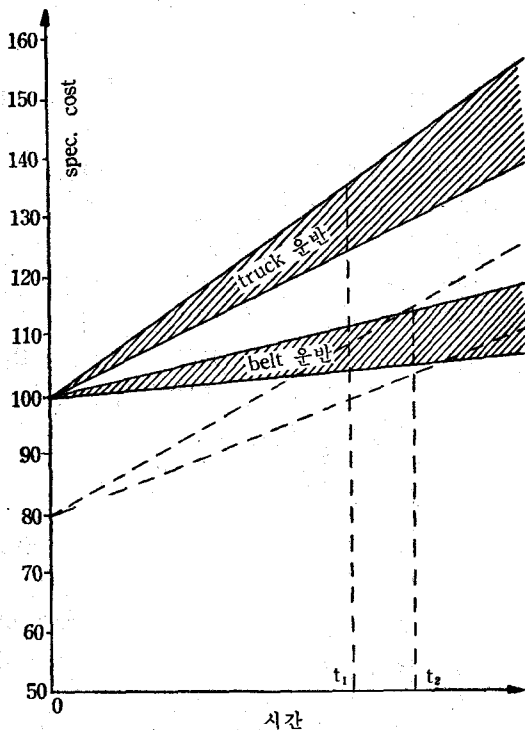
<그림-17> 10% 구배 운반 truck 및 belt 운반 투자 비교 (III)



<그림-18> 10% 도로 및 32.5% belt 운반시 운반 cost 비교



<그림-19> 운반량과 spec. conveying cost 關係



<그림-20> 시간의 경과에 따른 truck 및 belt 운반의 勞力費 상승 추세도

dump truck의 경우의 1/6~1/3에 불과하다.

따라서 年間 人件費 上昇率을 10%로 가정할 때 약 7年後에는 100% 상승을 가져 오며 이것은 dump truck의 경우 25~35.6%의 cost 增大를, belt 운반에서는 4~14%의 cost 增大를 가져 온다.

<그림-20>은 이러한 結果를 圖示한 것이다.

물론 운반 cost는 各作業場의 조건 및 사업체의 관리 체제에 따라 차이가 있으나 시간의 경과에 따라 <그림-20>에 나타난 結果는 더욱 뚜렷해질 것으로 본다.