

raw mix control 과 經濟性 檢討

金 元 鍾

<星信化學株式會社丹陽工場試驗室>

I. 序 言

近來 cement plant process 가 heat balance 와 material balance 및 power balance 등을 고려하여 機械裝置 및 制御系統의 改選으로 製造 工程의 단순화와 더불어 대량 생산을 實證하고 있다.

그러나 實務에 종사하여 보면 이러한 施設面 에 못지 않게 重要한 原料配合에 의한 raw mix control 에 直面하게 된다. 환언하면 시설과 raw mix 가 생산과 品質에 깊은 函數關係를 나타낸 다고 볼 수 있다.

그런데 raw mix 는 서로 成分이 다른 原料를 인위적으로 配合하여 kiln feeding 原料로 사용 하게 됨은 주지의 사실이다.

특히 우리나라의 經濟는 금년처럼 벅찬 시련 을 안겨 준 해도 드물다. 이와 같은 經濟的 不況 속에서 cement 業界만 例外일 수는 없다. 이같은 狀況 속에서 합리적인 운영 방안이 여러 모로 검토되고 있겠지만 현장에서 직접 生産業務에 종 사하는 우리는 原價節減의 필요성을 충분히 인 식하여 이에 대한 raw mix control 과 原料를 중심으로 그 經濟性을 검토하여 보았다.

II. raw mix control

cement 製造用 原料는 일반적으로 lime stone, clay, sand 및 iron-ore 이다. raw mix 는 이와 같은 原料를 인위적으로 배합하게 된다.

raw mix 를 生産하는 데는 여러 가지 原料를 가하면 가할수록 raw mix control 上的 애로와 더불어 生産原價가 더 높아진다.

특히 cement 공업과 같이 대량 생산 工程에서

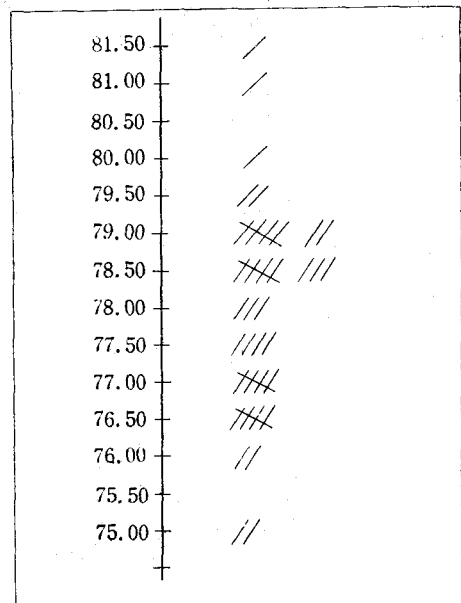
는 事前措置가 제일 중요하다. 實務者는 原石品 位 control 에서부터 blending silo 에 이르기까 지 raw mix 均劑化에 노력하고 있다. blending silo 內의 raw mix 가 전체 不良 lot 라 한다면 再入倉에 의한 control 外에는 크게 바람직한 방 법은 없다. 그러므로 더욱 raw mix control 을 중요시하게 된다.

1. control 의 實際

1) T. C control

raw mill A+B 에서 연속적으로 生産되는 raw mix 를 30 분 단위로 측정한 결과를 silo 1 基에 대한 度數分布 檢査一트, 度數分布 및 histogram 으로 검토하면 <그림-1>, <表-3>, <그림-2> 와 같다.

2) 度數分布(frequency distribution)



<그림-1> 度數分布 檢査一트

<表-1>

No. A, raw mix control(77.90)

time	total carbonate (%)							
	No.	TC(%)	total	average	No.	TC(%)	total	average
8	1	78.14	78.14	78.14	2	78.58	156.72	78.36
9	3	78.84	235.56	78.55	4	77.00	312.56	78.14
10	5	77.60	390.16	78.03	6	75.09	465.16	77.52
11	7	77.40	542.56	77.50			休	
12	8	74.88	617.44	77.18	9	78.52	695.96	77.33
13	10	81.22	777.18	77.71	11	80.56	857.34	77.94
14	12	76.70	934.03	77.84	13	75.84	1,009.88	77.68
15	14	78.40	1,088.28	77.73	15	77.94	1,166.22	77.74
16	16	76.60	1,242.82	77.67	17	77.60	1,320.42	77.67
17	18	81.40	1,401.82	77.88	19	79.40	1,481.22	77.96
18	20	77.40	1,558.62	77.93				

- 註: 1) mill cap. : 135 ㄱ/hr 2臺
 2) blending silo cap. : 3,000ㄱ/1基
 3) sampling : 30分 간격 1回
 4) raw mill A+B → blending silo No. A入

<表-2>

No. B, raw mix control(77.90)

time	total carbonate (%)							
	No.	TC(%)	total	average	No.	TC(%)	total	average
8	1	77.20	77.20	77.20	2	76.76	653.96	76.98
9	3	78.78	232.74	77.58	4	78.70	311.44	77.86
10	5	79.10	390.54	78.11	6	76.78	467.32	77.88
11	7	78.00	545.32	77.90	8	78.40	623.72	77.96
12	9	78.94	702.66	78.07	10	78.40	781.06	78.10
13	11	78.14	859.20	78.10	12	76.60	935.80	78.06
14	13	78.60	1,014.40	78.03	14	78.40	1,092.80	78.05
15	15	77.00	1,169.80	77.98	16	76.32	1,246.12	77.88
16	17	78.92	1,325.04	77.89	18	76.40	1,401.44	77.86
17	19	79.40	1,480.84	77.94	20	79.00	1,559.84	77.99
18	21	75.80	1,635.64	77.88				

3) 工程管理圖

$$\textcircled{1} \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$= \frac{1,558.62 + 1,635.64}{41} = \frac{3,194.26}{41}$$

$$= 77.91\%$$

$$\textcircled{2} \text{ standard deviation } \delta = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{83.6921}{41}} = \sqrt{2.0413} = 1.43\%$$

$$\textcircled{3} UCL = \bar{x} + 3\delta \quad \bar{x} = 77.91 \quad \delta = 1.43$$

管理圖 = 77.91 ± 3 × 1.43 = 77.91 ± 4.29

즉 UCL = 82.20%

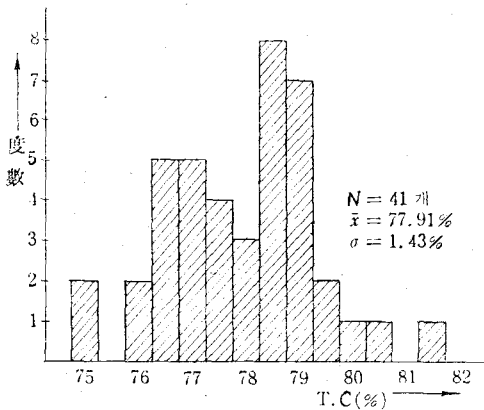
LCL = 73.62%

②의 standard deviation δ=1.43%는 ③의 管理圖 UCL이다. LCL에서 보는 바와 같이 raw mix control上的 그 幅이 寬을 알 수 있다.

즉 管理圖의 管理限界幅이 3δ가 좋은가 2δ 또는 1δ가 좋은가에 대해서는 일반적으로 무어라 말할 수 없지만 T.C control에 있어서는 <表-1>, <表-2>와 같은 data가 出現하는 工場에서는 3δ법보다 1δ가 經驗上 有用함을 알 수 있었고 管理限界線이 ±1δ 정도(T.C 약 1% 内外)

<表-3> 度數分布表

細 區		分
代 表 值	區 分	發 生 度 數
81.50	81.75	1
81.00	81.25	1
80.50	80.75	0
80.00	80.25	1
79.50	79.75	2
79.00	79.25	7
78.50	78.75	8
78.00	78.25	3
77.50	77.75	4
77.00	77.25	5
76.50	76.75	5
76.00	76.25	2
75.50	75.75	0
75.00	75.25	2
	74.75	



<그림-2> histogram

가 raw mix control 上 무난했으며 raw mix control 을 위한 管理圖의 適應·必要性 여부는 생략했음을 添言하여 둔다.

2. 工程의 安定化

raw mix control 이란 事實上 無限母集團인 연속적 生産工程에서 30분 간격으로 T.C를 측정하여 工程狀態를 파악하는 것이다.

이같이 n回 採取된 試料의 결과로서 目標基準值內에 들면 cut하게 된다. 각 表 및 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 T.C의 변동을 알아 보기 위하여 度數分布 및 histogram 등을 만들어 보았다. 여기 나타나는 각 區間에 속하는 data의

出現度를 그림으로 나타낸 것이 histogram 인 것으로 다음과 같은 data를 얻을 수 있다.

- 1) $\bar{x}=77.91\%$ 에서 $\pm 3.5\%$ T.C 範圍
- 2) normal condition 을 유지하다가 우연히 T.C의 高低가 발생하면 반대로 低·高值 현상을 유발시켜 \bar{x} 值로 유지한다.

실제로 blending silo 內의 raw meal 이 1) 과 같이 그 범위가 넓거나 2)와 같은 현상이 일어나면 基準值인 \bar{x} 의 目標值를 조정했다 하더라도 normal 보다 roots blowers 에 의한 blending time 의 연장 필요성이 불가피하며 따라서 電力費가 더 所要되고 引出原料의 T.C error 도 일반적으로 더 커진다.

결과적으로 raw mix control 에 있어서 normal condition 을 유지하면서 上記 1), 2)가 발생하지 않도록 하기 위해서는

- ① 主原料의 品位 pre-mixing
- ② feeding 原料의 均一化
- ③ normal operation
- ④ T.C% = $\bar{x} \pm 1\delta\%$ 에서 測定值가 \bar{x} 를 중심으로
 - ㉠ out 될 때는 安定되지 않은 상태의 T.C 管理狀態라 보고 措置하며
 - ㉡ 연속된 3點이 中心線 한쪽에 있을 경우
- ⑤ 原料調整工의 現場把握과 精確한 action 등이 요구된다.

III. raw mix 의 經濟性

1. 原料配合

cement 의 原料는 일반적으로 4 가지 原料를 配合한다. 主原料인 石灰石, 粘土의 品位에 따라 添加物中 1, 2種을 加減할 수 있다.

前述한 바와 같이 添加物이 많을수록 製造原價가 높아지며 製造原價를 節減하는 因子는 여러 가지가 있다. 그 중 原料를 중심으로 raw mix 의 각종 modulus 를 변동시켜 검토하여 보았고 原料配合를 위한 기초적인 諸公式를 記述하여 보면

1) Modulus

$$H.M = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} \dots\dots\dots ①$$

$$S.M = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \dots\dots\dots ②$$

$$I. M = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \dots\dots\dots ③$$

2) 原料配合比 (4種類)

<表-4> 原料의 成分比較表

原料	成分(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
lim stone(x)		S ₁	A ₁	F ₁	C ₁
clay (y)		S ₂	A ₂	F ₂	C ₂
sand (z)		S ₃	A ₃	F ₃	C ₃
iron-ore (w)		S ₄	A ₄	F ₄	C ₄

$$H. M = \frac{C_1 \cdot x + C_2 \cdot y}{(S_1 + A_1 + F_1)x + (S_2 + A_2 + F_2)y} + \frac{C_3 \cdot z + C_4 \cdot w}{(S_3 + A_3 + F_3)z + (S_4 + A_4 + F_4)w} \dots\dots\dots ④$$

$$S. M = \frac{S_1 \cdot x + S_2 \cdot y + S_3 \cdot z}{(A_1 + F_1)x + (A_2 + F_2)y + (A_3 + F_3)z} + \frac{S_4 \cdot w}{(A_4 + F_4)w} \dots\dots\dots ⑤$$

$$I. M = \frac{A_1 \cdot x + A_2 \cdot y + A_3 \cdot z + A_4 \cdot w}{F_1 \cdot x + F_2 \cdot y + F_3 \cdot z + F_4 \cdot w} \dots\dots\dots ⑥$$

$$x + y + z + w = 1 \dots\dots\dots ⑦$$

3) 原單位 및 所要量

<表-5> 原 料

原料	成分(%)	早斗水分(配合比)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
lim stone		1.16	8.10	1.85	0.85	47.65
clay		18.90	55.40	20.12	7.66	1.04
sand		4.12	80.22	8.34	1.97	1.13
iron-ore		5.00	29.76	5.39	48.78	1.52

<表-9>

raw mix 化學成分, 諸係數 및 配合比率에 의한 噸當 價格

	化 學 成 分 (%)				諸 係 數			配合比率(%)			R/M 中原料價(원/톤)			raw mix (원/톤)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	H. M	S. M	I. M	石	粘	鐵	石	粘	鐵	
1	14.31	3.56	2.19	41.70	2.08	2.49	1.63	88.49	9.61	1.90	132.74	19.22	35.15	187.11
2	14.52	3.50	2.22	42.28	2.09	2.54	1.58	88.85	9.10	2.05	133.28	18.20	37.93	189.41
3	14.81	3.04	2.20	41.72	2.08	2.83	1.38	88.61	9.35	2.04	132.92	18.70	37.74	189.36
4	14.70	3.13	2.20	41.66	2.08	2.76	1.42	89.47	9.06	1.87	134.21	18.12	34.60	186.93
5	14.94	2.94	2.14	42.13	2.10	2.94	1.37	90.60	7.20	2.20	135.90	14.40	40.70	191.00
6	14.65	2.81	2.14	42.05	2.15	2.96	1.31	89.91	7.86	2.23	134.87	15.72	41.26	191.85
7	14.55	2.72	2.35	42.20	2.15	2.87	1.16	90.29	7.12	2.59	135.44	14.24	47.92	197.60
8	14.72	2.80	2.30	41.99	2.12	2.89	1.22	88.88	9.22	1.60	133.32	18.44	29.60	181.36
9	15.07	2.86	2.11	42.20	2.11	3.03	1.36	91.00	7.42	1.58	136.50	14.84	29.23	180.57
10	14.89	2.72	2.11	42.03	2.13	3.08	1.29	90.63	7.18	2.19	135.95	14.36	40.52	190.83

<表-6> 配 合

原料	成分(%) 早斗水分(配合比)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
lime stone	(87.29)	7.07	1.61	0.74	41.59
clay	(7.84)	4.34	1.57	0.60	0.08
sand	(3.23)	2.59	0.27	0.06	0.04
iron-ore	(1.64)	0.49	0.09	0.80	0.02
raw mix		14.49	3.54	2.20	41.73

R/M modulus : H·M 2.06 S·M 2.52 I·M 1.61
但 f=1.61 일 때 (假定)

<表-7> 原 單 位

	原單位 raw mix kg/t-cl'		remark
	wet	dry	
lime stone	1,421.863	1,405.369	
clay	155.640	126.224	
sand	54.238	52.003	
iron-ore	27.794	26.404	

4) 原料單價

<表-8> 原料單價 (單位: 원/톤) (假定金額)

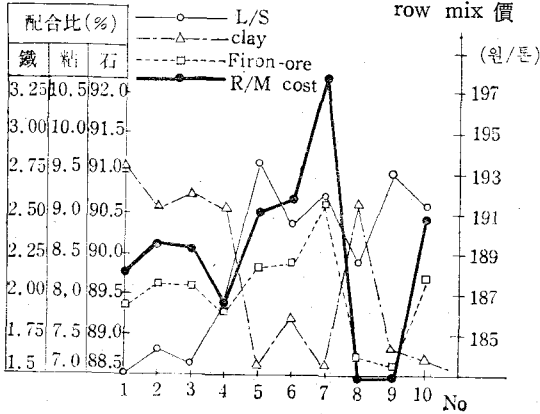
原 料	單 價	remark
lime stone	150	
clay	200	
sand	300	
iron-ore	1,850	

2. raw mix 噸當價 實際(3種類)

1) raw mix 化學成分, 諸係數 및 配合比率에 의한 噸當價

- 註 1) 20 개 이상 data 의 平均値
- 2) 原料單價는 III-1 의 (4)
- 3) 期間: 省略

2) raw mix 噸當價 변동에 관한 考察(3原料)



<考察>

① 鐵鑛石 使用量이 raw mix cost 와 밀접한 관계가 있다. ② 配合比率 중 石灰石이 증가하고 粘土 및 鐵鑛石量이 낮아지면 cost 가 떨어진다. ③ cost 는 낮으나 品質面에 고려하기 어려운 점이 나타난다. ④ 粘土 및 鐵鑛石量이 동시에 상승하고 石灰石이 낮아지면 cost 는急昇한다. ⑤ 鐵鑛石 중 Fe₂O₃ 含量이 높으면 일반적으로 cost 가 낮아진다. 이상과 같이 raw mix 의 係數變動에 의한 配合比率과 cost 關係를 考察하여 보았으나 細密히 검토하여 보면 각 modulus 와의 관계 등에서 諸要因을 발견할 수 있다. 고로 우리는 여러 가지 因子에 의하여 주어질 原料로서 品質面과 原價面을 동시에 고려해야 된다.

clinker 1 噸을 生産하는 데 理論上 raw mix (ig. loss 35.6% 일 때) 1.55 噸이 所要된다. 그런데 raw mix 는 配合比率에 의하여 原料의 비율이 변화하므로 原價는 서로 달라진다. 일반적으로 raw mix 의 原價를 down 시키는 要因은 우선 採石單價가 싸야 하며 시간당 생산량 增産이나 品質 및 原價面을 고려한 raw mix 配合比率의 適定線을 찾아야 한다.

3. 係數 변동과 raw mix cost 관계

1) L. S. F(H.M)를 높이고 S. M 및 I. M 을 일정하

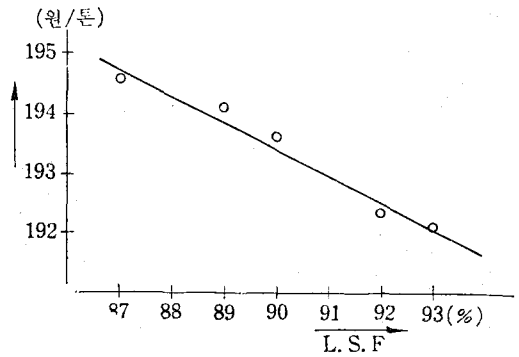
게 할 때

① 原料(3種類)

<表-10>

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	remark
lime stone	8.95	1.55	0.45	47.02	
clay	61.68	19.35	6.53	0.80	
iron-ore	26.52	6.60	48.02	1.30	

② L. S. F 와 cost 關係圖



<그림-4>

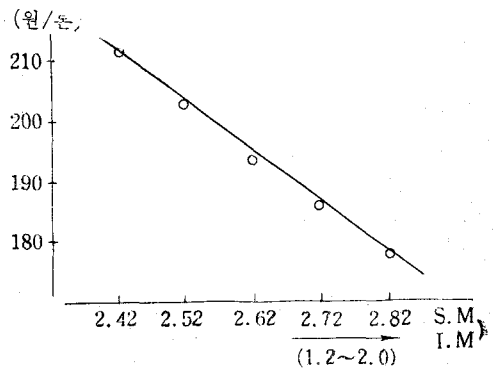
raw mix 중 S. M, I. M 을 일정하게 하고 L. S. F 를 높이면 cost 는 떨어진다.

2) S. M, I. M 을 높이고 H. M 을 일정하게 할 때

① 原料

① 成分과 同一(3種類)

② S. M(I. M)과 cost 關係圖



<그림-5>

raw mix 중 S. M, I. M 을 동시에 높이고 H. M 을 일정하게 하면 cost 가 떨어진다.

3) H. M, I. M 을 일정하게 하고 S. M 만 높일 때

① 原料(4種類) : <表-13> 參照

② S. M 과 cost 와의 關係圖

<表-11> 및 <表-12>

	配合比(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	L. S. F	S. M	I. M	raw mix (원/톤)
lime stone	87.23	7.82	1.35	0.39	41.02				130.85
clay	10.45	6.45	2.02	0.68	0.08				20.90
iron-ore	2.32	0.62	0.15	1.11	0.03				42.92
raw mix		14.88	3.52	2.18	41.13	87	2.61	1.61	194.67
lime stone	87.40	7.82	1.35	0.39	41.10				131.10
clay	10.29	6.35	1.99	0.67	0.08				20.58
iron-ore	2.31	0.61	0.15	1.11	0.03				42.74
raw mix		14.78	3.49	2.17	41.21	89	2.61	1.61	194.42
lime stone	87.84	7.86	1.36	0.40	41.30				131.76
clay	9.87	6.09	1.91	0.64	0.08				19.74
iron-ore	2.29	0.61	0.15	1.10	0.03				42.37
raw mix		14.56	3.42	2.14	41.41	90	2.62	1.60	193.87
lime stone	88.31	7.90	1.37	0.40	41.52				132.47
clay	9.47	5.84	1.83	0.62	0.08				18.94
iron-ore	2.22	0.59	0.15	1.07	0.03				41.07
raw mix		14.33	3.35	2.09	41.60	92	2.63	1.61	192.48
lime stone	88.40	7.91	1.37	0.40	41.57				132.60
clay	9.40	5.80	1.82	0.61	0.08				18.80
iron-ore	2.20	0.58	0.15	1.06	0.03				40.70
raw mix		14.29	3.34	2.07	41.61	93	2.61	1.64	192.10

	配合比(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	H. M	S. M	I. M	raw mix (원/톤)
lime stone	87.79	7.86	1.36	0.40	41.28				131.69
clay	8.87	5.47	1.72	0.58	0.07				17.74
iron-ore	3.34	0.89	0.22	1.60	0.04				61.79
raw mix		14.22	3.30	2.58	41.39	2.06	2.42	1.28	211.22
lime stone	87.85	7.86	1.36	0.40	41.31				131.78
clay	9.36	5.79	1.82	0.61	0.08				18.72
iron-ore	2.79	0.74	0.18	1.34	0.04				51.62
raw mix		14.39	3.36	2.35	41.43	2.06	2.52	1.43	202.12
lime stone	87.84	7.86	1.36	0.40	41.30				131.76
clay	9.87	6.09	1.91	0.64	0.08				19.74
iron-ore	2.29	0.61	0.15	1.10	0.03				42.37
raw mix		14.56	3.42	2.14	41.41	2.06	2.62	1.60	193.97
lime stone	87.89	7.87	1.36	0.40	41.33				131.84
clay	10.32	6.37	2.00	0.67	0.08				20.64
iron-ore	1.79	0.47	0.12	0.86	0.02				33.12
raw mix		14.71	3.48	1.93	41.43	2.06	2.72	1.80	185.60
lime stone	87.92	7.87	1.36	0.40	41.34				131.81
clay	10.75	6.63	2.08	0.70	0.09				21.50
iron-ore	1.33	0.35	0.09	0.64	0.02				24.61
raw mix		14.85	3.53	1.74	41.45	2.06	2.82	2.03	177.99

raw mix 중 H. M, I. M을 일정하게 하고 S. M을 높이면 cost가 올라 간다.

한편 각 modulus의 範圍領域을 그래프로 나타내어 L. S. F와 S. M과의 交叉點을 찾아 보면

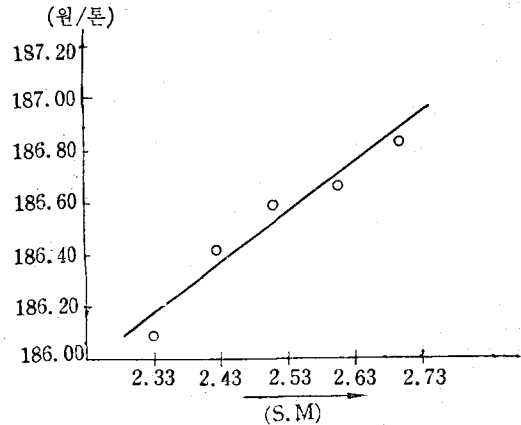
<表-13>

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
lime stone	8.10	1.85	0.85	47.65
clay	55.40	20.12	7.66	1.04
sand	80.22	8.34	1.97	1.13
iron-ore	29.76	5.39	48.78	1.52

raw mix control 에 참가할 수 있으며 cost 와 品質面의 安定領域을 발견할 수 있다.

IV. 結 論

raw mix control 은 연속적인 生産工程에서 原



<그림-5>

<表-14>

	配合比(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₂	CaO	H. M	S. M	I. M	raw mix (원/톤)
lime stone	87.20	7.06	1.61	0.74	41.55				130.80
clay	9.51	5.27	1.91	0.73	0.10				19.02
sand	1.59	1.28	0.13	0.03	0.02				4.77
iron-ore	1.70	0.51	0.09	0.83	0.03				31.45
raw mix		14.12	3.74	2.33	41.70	2.07	2.33	1.61	186.04
lime stone	87.21	7.06	1.61	0.74	41.56				130.82
clay	8.68	4.81	1.75	0.66	0.09				17.36
sand	2.44	1.96	0.20	0.04	0.03				7.32
iron-ore	1.67	0.50	0.09	0.81	0.03				30.90
raw mix		14.33	3.65	2.25	41.71	2.06	2.43	1.62	186.41
lime stone	87.29	7.07	1.61	0.74	41.59				130.94
clay	7.84	4.34	1.57	0.60	0.08				15.68
sand	3.23	2.59	0.27	0.06	0.04				9.69
iron-ore	1.64	0.49	0.09	0.80	0.02				30.34
raw mix		14.49	3.54	2.20	41.73	2.06	2.52	1.61	186.65
lime stone	87.35	7.08	1.62	0.74	41.62				131.03
clay	7.06	3.91	1.42	0.54	0.07				14.12
sand	3.99	3.20	0.33	0.08	0.05				11.97
iron-ore	1.60	0.48	0.09	0.78	0.02				29.60
raw mix		14.67	3.46	2.14	41.76	2.06	2.62	1.62	186.72
lime stone	87.40	7.08	1.62	0.74	41.65				131.10
clay	6.31	3.50	1.27	0.48	0.07				12.62
sand	4.72	3.79	0.39	0.09	0.05				14.16
iron-ore	1.57	0.47	0.08	0.77	0.02				29.05
raw mix		14.84	3.36	2.08	41.79	2.06	2.73	1.62	186.93

料를 安定된 상태로 유지하기 위한 조치이다.

일반적으로 blending silo 가 크면 클수록 만족한 raw mix 를 만들기 쉽다. 한편 raw mix 의 係數變動이 原價面에서는 유리하지만 品質에 영

향을 미치고 어떤 配合比率은 品質面을 充足시키나 原價面에서 불리한 영향을 미친다. 따라서 兩者를 공히 만족시키는 점을 찾아 가면서 raw mix 를 control 하는 것이 바람직하다고 본다.