

# Clinker 溫度와 粉碎性의 相關分析

A relative analysis of the grind ability to the temperature of clinker

韓一세멘트工業株式會社 李 南 龍  
丹陽工場 生産管理室長

## 目 次

1. 序
2. 基礎資料
3. 相關分析
  - 3-1 回歸方程式의 誘導
  - 3-2 相關係數計算
  - 3-3 相關係數檢定
  - 3-4 相關係數推定
4. 結 論

## 1. 序

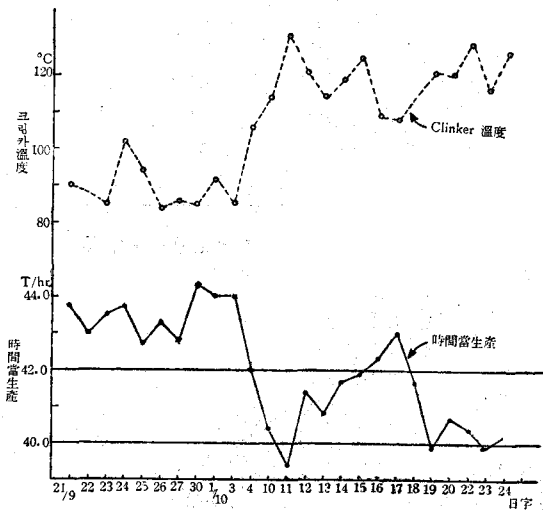
Cement mill에서 Clinker 溫度가 높아지면(例 100°C 以上) mill의 粉碎能率이 低下된다는 것은 잘 알려진 事實이다. 石膏는 約 105°C 부터 脫水作用이 일어나므로 그 以上の 溫度에서는 結晶水의 一部 또는 全部가 脫水되어 難粉碎性을 가진 半水石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ )나 無水石膏( $\text{CaSO}_4$ )가 되며 鋼球表面에는 Cement의 Coating이 形成되어 Cushioning action을 誘發시킨다. 本稿는 理論的인 面은 且置하고 現場에서 얻은 資料를 基礎로 實際的으로 clinker 溫度上昇에 따라 mill의 粉碎能率이 어떻게 低下되어가는가 하는 것을 分析한 것이다. 한편 mill 自體의 粉碎能率은 clinker 溫度뿐 아니라 finishing cement의 粉末度等 餘他的 運轉條件의 影響도 받을 것이므로 이러한 點도 考慮하였다. 資料는 丹陽工場 #3 cement mill(Allis chalmers compeb mill, 40 T/hr. 容量)의 지난 9月 21日~10月 25日 期

間의 運轉實績에서 取하였다(但 停電, 機械整備等으로 8時間以上 運休한 것은 除外. 여기서 言及해 들 것은 同期間中 後期(10月 4日以後)에는 feeding clinker 溫度가 100°C 以上으로 上昇, 最高 131°C 를 記錄하였다.

## 2. 基礎資料

Table 1은 本 相關分析에서 利用된 基礎資料이다. 圖表로 나타내면 Fig 1과 같다.

Fig.1 Clinker 溫度와 Cement 時間當 生産의 變化



clinker 溫度와 mill의 時間當生産量의 散點圖(Scatter diagram)를 그리면 Fig.2와 같다. 兩圖表上에 나타난 바와 같이 clinker 溫度와 mill의 生産量間에는 “負의 相關關係”가 存在하는 것으로 推測할 수 있다. Fig.3은 finishing cement의 粉末度(170mesh residue)와 mill 生産量間의 散

Table 1. #3 cement mill 運轉實績(9月 21日~10月 24日)

$$\text{※ output} = \frac{1,037}{10} \times \text{rev./h.} \text{ 로 換算}$$

Date	oper. hrs.	clinker temp. °C				Fineness		Geeder rev.		rev./hr.	※ output T/hr.	
		$\bar{x}$	$x_{max}$	$x_{min}$	R	mesh 170	Blaine	clinker	Gypsum			
9/21	17:10	90	110	80	30	2.5	3,350	7,245	2,838	421	43.7	
	22	22:45	88	108	68	40	2.5	3,180	9,435	3,486	415	43.0
	23	22:00	85	108	68	40	2.5	3,130	9,250	3,540	420	43.5
	24	23:40	102	128	68	60	2.3	3,240	10,000	3,594	422	43.7
	25	22:28	94	107	78	29	2.7	3,200	9,260	3,022	412	42.7
	26	20:40	84	92	77	15	2.7	3,200	8,655	3,232	418	43.3
	27	22:15	86	96	70	26	2.5	3,200	9,200	4,172	413	42.8
	30	23:50	85	107	70	37	2.8	3,260	10,155	3,976	427	44.3
10/1	22:30	92	112	74	38	2.3	3,190	9,535	3,817	424	44.0	
	3	18:13	85	94	68	26	2.8	3,090	7,715	2,614	424	44.0
	4	24:00	106	150	71	79	2.5	3,110	9,720	3,442	405	42.0
	10	22:37	114	139	83	56	2.5	3,060	8,820	2,670	390	40.4
	11	22:10	131	198	96	102	2.2	3,060	8,435	1,615	380	39.4
	12	16:10	121	141	86	55	2.3	3,230	6,415	1,753	399	41.4
	13	22:20	114	126	98	28	2.3	3,320	8,790	2,102	394	40.8
	14	22:30	119	142	86	56	2.4	3,000	9,055	2,680	402	41.7
	15	24:00	125	137	109	28	2.6	2,890	9,685	2,376	404	41.9
	16	21:00	109	140	86	54	2.3	3,080	8,560	1,928	408	42.3
	17	17:10	108	142	94	48	2.2	3,220	7,145	1,668	415	43.0
	18	20:00	115	136	85	51	2.0	3,000	8,030	1,956	402	41.7
	19	24:00	121	150	80	70	1.9	2,860	9,235	2,338	385	39.9
	20	21:40	120	138	106	32	1.9	2,930	8,520	1,891	393	40.7
	22	21:00	129	142	94	48	1.9	3,000	8,190	1,796	390	40.4
	23	20:40	116	139	91	48	2.1	3,000	7,960	2,188	385	39.9
	24	23:30	126	150	100	50	2.0	3,060	9,110	2,549	388	40.2

Fig.2 Clinker 温度와 Cement 生産量の 散點圖

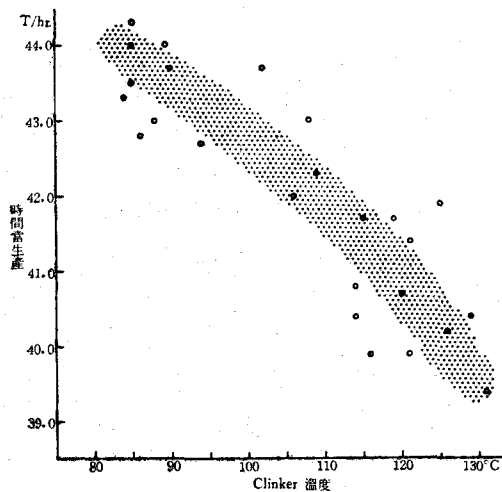
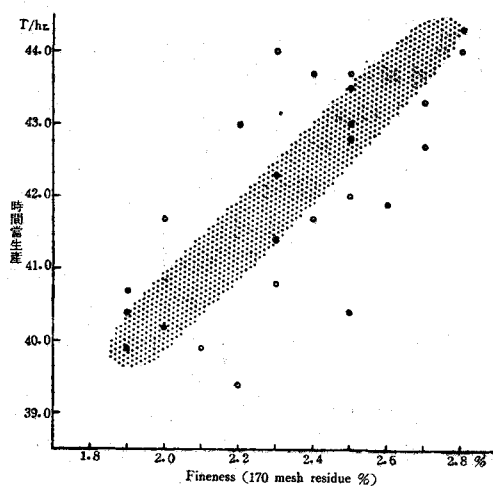


Fig.3 Cement 의 粉末度와 生産量の 散點圖



點圖이다. 圖表上에서 알 수 있는 바와 같이 兩者間에는 “正의 相關關係”가 있음을 推測할 수 있다.

### 3. 相關分析

#### 3-1. 回歸方程式의 誘導

補助表에 依하여 回歸方程式을 求한다. 時間 當粉碎量(Z; T/hr)에 對한 clinker 溫度(x; °C)와 finishing cement의 fineness(y; 170mesh residue %)의 相關關係에서 獨立變數가 2인 境遇의 重回歸方程式을 適用한다. 이에 對한 線型重回歸方程式의 pattern은 다음과 같다.

$$z - \bar{z} = a(x - \bar{x}) + b(y - \bar{y}) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

但,  $\bar{z}, \bar{x}, \bar{y}$ 는 各各  $x, y, z$ 의 平均値  $a, b$ 는  $x$ 와  $y$ 의 回歸係數

線型回歸方程式에서 獨立變數 2인 境遇의 最小自乘法을 適用 다음의 正規方程式을 얻는다.

(註 1)

$$\left. \begin{aligned} aS_{(xz)} + bS_{(zy)} &= S_{(xz)} \\ aS_{(xy)} + bS_{(yy)} &= S_{(zy)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

但,  $S_{(xx)} = \sum(x_i - \bar{x})^2$

$$S_{(yy)} = \sum(y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{(xy)} = \sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

$$S_{(xz)} = \sum(x_i - \bar{x})(z_i - \bar{z})$$

$$S_{(yz)} = \sum(y_i - \bar{y})(z_i - \bar{z})$$

②式에서  $a, b$ 를 풀면

$$\textcircled{*1} X = (x - x_0)h = (x - 100) \times 1$$

$$\textcircled{*2} Y = (y - y_0)g = (y - 2.0) \times 10$$

$$\textcircled{*3} Z = (z - z_0)f = (z - 40) \times 10 \text{ 라 變數變換한.}$$

Table 2. 補助表

Sample No.	cl. temp. x(°C)	fineness y(%)	output z(T/hr.)	X $\textcircled{*1}$	Y $\textcircled{*2}$	Z $\textcircled{*3}$	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	Z <sup>2</sup>	XY	YZ	ZX
1	90	2.5	43.7	-10	5	37	100	25	1,369	-50	185	-370
2	88	2.5	43.0	-12	5	30	144	25	900	-60	150	-360
3	85	2.5	43.5	-15	5	35	225	25	1,225	-75	175	-525
4	102	2.3	43.7	2	3	37	4	9	1,369	6	111	74
5	94	2.7	42.7	-6	7	27	36	49	729	-42	189	-162
6	84	2.7	43.3	-16	7	33	256	49	1,089	-112	231	-528
7	86	2.5	42.8	-14	5	28	196	25	784	-70	140	-392
8	85	2.8	44.3	-15	8	43	225	64	1,849	-120	344	-645
9	92	2.3	44.0	-8	3	40	64	9	1,600	-24	120	-320
10	85	2.8	44.0	-15	8	40	225	64	1,600	-120	320	-600
11	106	2.5	42.0	6	5	20	36	25	400	30	100	120
12	114	2.5	40.4	14	5	4	196	25	16	70	20	56
13	131	2.2	39.4	31	2	-6	961	4	36	62	-12	-186
14	121	2.3	41.4	21	3	14	441	9	196	63	42	294
15	114	2.3	40.8	14	3	8	196	9	64	42	24	112
16	119	2.4	41.7	19	4	17	361	16	289	76	68	323
17	125	2.6	41.9	25	6	19	625	36	361	150	114	475
18	109	2.3	42.3	9	3	23	81	9	529	27	69	207
19	108	2.2	43.0	8	2	30	64	4	900	16	60	240
20	115	2.0	41.7	15	0	17	225	0	289	0	0	255
21	121	1.9	39.9	21	-1	-1	441	1	1	-21	1	-21
22	120	1.9	40.7	20	-1	7	400	1	49	-20	-7	140
23	129	1.9	40.4	29	-1	4	841	1	16	29	-4	116
24	116	2.1	39.9	16	1	-1	256	1	1	16	-1	-16
25	126	2.0	40.2	26	0	2	676	0	4	0	0	52
Σ				165	87	507	7,275	485	15,665	127	2,439	-1,661

$$a = \frac{\left| \frac{S_{(xz)}S_{(xy)}}{S_{(yz)}S_{(yy)}} \right|}{\left| \frac{S_{(xx)}S_{(xy)}}{S_{(xy)}S_{(yy)}} \right|} = \frac{S_{(xz)}S_{(yy)} - S_{(xy)}S_{(yz)}}{S_{(xx)}S_{(yy)} - S_{(xy)}^2}$$

$$= \frac{\gamma_{xz} - \gamma_{xy}\gamma_{yz}}{1 - \gamma_{xy}^2} \sqrt{\frac{S_{(zz)}}{S_{(xx)}}} \dots\dots(3-1)$$

$$b = \frac{\left| \frac{S_{(xz)}S_{(xz)}}{S_{(xy)}S_{(yz)}} \right|}{\left| \frac{S_{(xx)}S_{(xy)}}{S_{(xy)}S_{(yy)}} \right|} = \frac{S_{(xx)}S_{(yz)} - S_{(xy)}S_{(xz)}}{S_{(xx)}S_{(yy)} - S_{(xy)}^2}$$

$$= \frac{\gamma_{yz} - \gamma_{xy}\gamma_{xz}}{1 - \gamma_{xy}^2} \sqrt{\frac{S_{(zz)}}{S_{(yy)}}} \dots\dots(3-2)$$

但,  $\gamma_{xy} = \frac{S_{(xy)}}{\sqrt{S_{(xx)}S_{(yy)}}}$ , 여기서  $\gamma_{xy}$  는  $x, y$  間의 單相關係數

$\gamma_{xz} = \frac{S_{(xz)}}{\sqrt{S_{(xx)}S_{(zz)}}}$ ,  $\gamma_{xz}$  는  $x, z$  間의 單相關係數

$\gamma_{yz} = \frac{S_{(yz)}}{\sqrt{S_{(yy)}S_{(zz)}}}$ ,  $\gamma_{yz}$  는  $y, z$  間의 單相關係數

補助表에서 平方和를 求한다.

$$S_{(xx)} = \frac{1}{h^2} \left( \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right)$$

$$= \frac{1}{12} \left( 7,275 - \frac{165^2}{25} \right) = 6,196$$

$$S_{(yy)} = \frac{1}{g^2} \left( \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right)$$

$$= \frac{1}{10^2} \left( 485 - \frac{87^2}{25} \right) = 1.82$$

$$S_{(zz)} = \frac{1}{f^2} \left( \sum Z^2 - \frac{(\sum Z)^2}{n} \right)$$

$$= \frac{1}{10^2} \left( 15,665 - \frac{507^2}{25} \right) = 53.83$$

$$S_{(xy)} = \frac{1}{hg} \left( \sum XY - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{n} \right)$$

$$= \frac{1}{1 \times 10} \left( 127 - \frac{165 \times 87}{25} \right) = -44.70$$

$$S_{(yz)} = \frac{1}{gf} \left( \sum YZ - \frac{\sum Y \cdot \sum Z}{n} \right)$$

$$= \frac{1}{10 \times 10} \left( 2,439 - \frac{87 \times 507}{25} \right) = 6.75$$

$$S_{(xz)} = \frac{1}{hf} \left( \sum XZ - \frac{\sum X \cdot \sum Z}{n} \right)$$

$$= \frac{1}{1 \times 10} \left( -1,661 - \frac{165 \times 507}{25} \right)$$

$$= -500.70$$

故로

$$a = \frac{-500.70 \times 1.82 - (-44.70) \times 6.75}{6,196 \times 1.82 - (-44.70)^2}$$

$$= -0.0657$$

$$b = \frac{6,196 \times 6.75 - (-44.70) \times (-500.70)}{6,196 \times 1.82 - (-44.70)^2}$$

$$= 2.0953$$

上記値를 ①式에 代入, 整理하면

$$z - 42.03 = -0.0657(x - 106.6) + 2.0953$$

$$(y - 2.34)$$

$$\therefore Z = 44,130 - 0.0657x + 2.0953y \dots\dots(4)$$

但,  $z$ : #3 cement mill 時間當 粉碎量(T/hr)

$x$ : feeding clinker 溫度( $^{\circ}C$ )

$y$ : cement fineness(%)

지금 cement 의 fineness 를 2% (170mesh residue)로 固定시킨다면 ④式은 다음과 같이 된다.

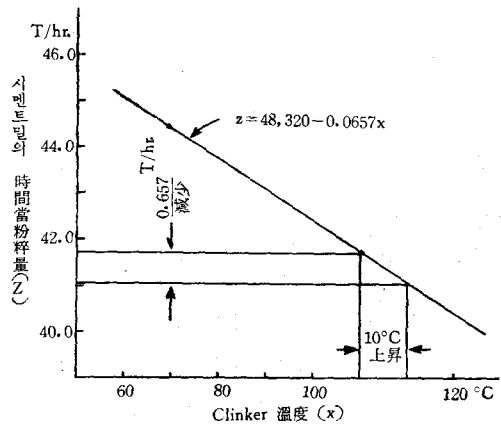
$$Z = 44,130 - 0.0657x + 2.0953 \times 2$$

$$= 48,320 - 0.0657x$$

$$\therefore Z = 48,320 - 0.0657x \dots\dots(5)$$

따라서 clinker 溫度 50~130 $^{\circ}C$  範圍에서  $x$  와  $z$  의 關係를 推定하면 Fig.4 와 같다. 即 clinker 溫度가 每 10 $^{\circ}C$  上昇할 때마다 #3 cement mill 의 粉碎量은 0.657=0.7T/hr 씩 減少된다.

Fig. 4 Cement 의 fineness 를 2%로 固定시켰을 때 Clinker 溫度와 時間當 粉碎量의 關係



한편 clinker 溫度를 100 $^{\circ}C$  에 固定시킨다고 하면

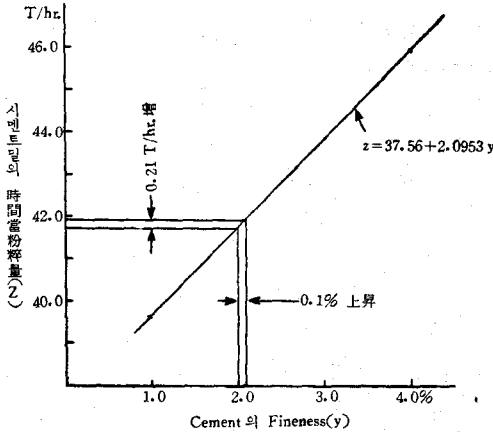
$$Z = 44,130 - 6.57 + 2.0953y = 37.56 + 2.0953y$$

$$\therefore Z = 37.56 + 2.0953y \dots\dots(6)$$

fineness 3% 以內에서 y와 z의 關係를 推定하면 Fig. 5와 같다.

即 cement의 fineness가 0.1% 粗大해지면 mill 粉碎量은 0.20953=0.2 T/hr 씩 增加한다.

Fig. 5 Clinker 溫度를 100°C로 固定시켰을 때 fineness와 時間當 粉碎量의 關係



### 3-2. 相關係數計算

于先 單相關係數  $\gamma_{xz}$ ,  $\gamma_{yz}$ ,  $\gamma_{xy}$ 를 求한다.

$$\gamma_{xz} = \frac{S_{(xz)}}{\sqrt{S_{(xx)}S_{(zz)}}} = \frac{-500.70}{\sqrt{6,196 \times 53.83}} = -0.867$$

$$\gamma_{yz} = \frac{S_{(yz)}}{\sqrt{S_{(yy)}S_{(zz)}}} = \frac{6.75}{\sqrt{1.82 \times 53.83}} = 0.682$$

$$\gamma_{xy} = \frac{S_{(xy)}}{\sqrt{S_{(xx)}S_{(yy)}}} = \frac{-44.7}{\sqrt{6,196 \times 1.82}} = -0.421$$

1) fineness(y)를 固定시켰을 때 clinker 溫度(x)와 mill의 時間當 粉碎量(z)과의 偏相關係數( $\gamma_{xz \cdot y}$ )를 求하면

$$\begin{aligned} \gamma_{xz \cdot y} &= \frac{\gamma_{xz} - \gamma_{xy} \cdot \gamma_{yz}}{\sqrt{1 - \gamma_{xy}^2} \sqrt{1 - \gamma_{yz}^2}} \\ &= \frac{-0.867 - (-0.421) \times 0.682}{\sqrt{1 - (-0.421)^2} \sqrt{1 - (0.682)^2}} \\ &= -0.875 \end{aligned}$$

即, cement의 fineness를 固定시킬 때 clinker 溫度와 mill의 時間當 生產量 間에는 “高度의 負의 相關係”가 있음을 알 수 있다. ( $-1 \leq \gamma \leq 1$ 이며  $\gamma=1$ 일 때 正의 完全相關係,  $\gamma=-1$ 일 때 負의 完全相關係이라 함)

2) Clinker 溫度를 固定시켰을 때 fineness (y)

와 mill의 時間當 粉碎量(z)과의 偏相關係數를 ( $\gamma_{yz \cdot x}$ ) 求한다.

$$\begin{aligned} \gamma_{yz \cdot x} &= \frac{\gamma_{yz} - \gamma_{xy} \cdot \gamma_{xz}}{\sqrt{1 - \gamma_{xy}^2} \sqrt{1 - \gamma_{xz}^2}} \\ &= \frac{0.682 - (0.421) \times (-0.867)}{\sqrt{1 - (-0.421)^2} \sqrt{1 - (-0.867)^2}} = 0.701 \end{aligned}$$

即, clinker 溫度를 固定시켰을 때 cement의 fineness와 mill의 時間當 粉碎量 間에는 相當한 程度의 “正의 相關係”가 있다.

### 3-3. 相關係數의 檢定

위의 現場 運轉資料에 依해서 計算된다. 偏相關係數  $\gamma_{xz \cdot y}$ ,  $\gamma_{yz \cdot x}$ 는 試料에 對한 相關係數이므로 여기에서 母集團에 對한 相關係數를 생각하지 않을 수 없다. 따라서 試料相關係數( $\gamma$ )를 母集團의 相關係數( $\rho$ )로 看做하는 경우 얼마만한 信賴性을 갖을 수 있는가를 于先 檢定하고자 한다.

1) fineness (y)를 固定시켰을 때 clinker 溫度(x)와 mill의 時間當 生產量(z)의 偏相關係數( $\gamma_{xz \cdot y}$ )에 對한 檢定

偏相關係數는

$$t_0 = \frac{\gamma}{\sqrt{1 - \gamma^2}} \sqrt{n - 3} \dots\dots\dots ⑦$$

⑦式에서 自由度  $n-3$ 의 分布에 依하여 그 有意性 與否를 檢定할 수 있다.

即

$$\begin{aligned} t_0 &= \frac{\gamma_{xz \cdot y}}{\sqrt{1 - \gamma_{xz \cdot y}^2}} \sqrt{n - 3} \\ &= \frac{-0.875}{\sqrt{1 - (-0.875)^2}} \sqrt{25 - 3} = -8.478 \end{aligned}$$

그런데 t分布表에서

$$t(25 - 3, 0.05) = 2.07$$

$$t(25 - 3, 0.01) = 2.82 \text{ 이므로}$$

$$t_0 > t(25 - 3, 0.01) \dots\dots\dots ⑧$$

위에서와 같이 自由度  $25 - 3 = 22$ 에 對한 有意水準 5%에 對한 t의 値는 2.07 또한 有意水準 1%에 對한 t의 値는 2.82가 되어  $t_0$ 의 値(-) 8.478은 1%에 對한 t의 値보다 훨씬 크므로  $\gamma_{xz \cdot y}$ 는 高度의 相關係가 있는 것으로 斷定할 수 있다. 換言하면  $\gamma_{xz \cdot y}$ 는 危險率 1%下에서 높은 相關係가 있는 것이다.

2) clinker 溫度(x)를 固定시켰을 때 fineness (y)와 mill의 時間當 粉碎量 (z)의 偏相關係數

( $r_{yz \cdot x}$ )에 대한 檢定

$$t_0 = \frac{r_{yz \cdot x}}{\sqrt{1-r_{yz \cdot x}^2}} \sqrt{n-3}$$

$$= \frac{0.701}{\sqrt{1-0.702^2}} \sqrt{25-3} = 4.611$$

그런데  $t(25-3, 0.01) = 2.82$  이므로

$$t_0 > t(25-3, 0.01) \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

即  $r_{yz \cdot x}$ 는 危險率 1%下에서  $r_{xz \cdot y}$  보다는 덜하나 亦是 높은 相關關係가 있다고 斷定된다.

### 3-4. 相關係數의 推定

$n$ (資料數)가 比較的 작고 위에서 檢定한 것처럼 母集團의 偏相關係數( $\rho$ )의 絕對值가 1에 가까운 값이라 하여도  $r$ 을  $Z$ 變換하여 正規分布와 같이 取扱, 母相關係數의 信賴範圍를 推定할 수 있다. (註 2)

(1) fineness( $y$ )를 固定시켰을 때 clinker 溫度( $x$ )와 mill의 時間當粉碎量( $z$ )의 母偏相關係數( $\rho$ )의 推定

于先  $r$ 을  $z$  變換하면

$$Z = \tan h^{-1} r = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+(-0.875)}{1-(-0.875)}$$

$$= -1.354$$

또한  $\tau = \tan h^{-1} \rho = \frac{1}{2} \ln \frac{1+\rho}{1-\rho}$  라 놓으면

$$Z - \frac{u\alpha}{\sqrt{n-4}} < \tau < Z + \frac{u\alpha}{\sqrt{n-4}} \dots\dots\dots \textcircled{10}$$

여기서  $u\alpha$ 를  $u_{0.05} = 1.96$ 을 取하면 母集團의 偏相關係數의 危險率 5%下에서의 信賴限界는

$$-1.354 - \frac{1.96}{\sqrt{25-4}} < \tau < -1.354 + \frac{1.96}{\sqrt{25-4}}$$

$$\therefore -1.781 < \tau < -0.927$$

$\tau$ 를  $\rho$ 로 變換시키면

$$-0.9448 < \rho < -0.7291$$

即, 母集團에 있어서 clinker 溫도와 mill 時間當粉碎量사이의 相關係數는 危險率 5%에서  $-0.9448 \sim -0.7291$  사이에 있어 高度의 相關性을 갖는 것을 알 수 있다.

(2) clinker 溫度( $x$ )를 固定시켰을 때 fineness ( $y$ )와 mill의 時間當粉碎率( $z$ )間的 母偏相關係數의 推定

$Z$ 變換을 하여

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+0.701}{1-0.701} = 0.8692$$

$$0.8692 - \frac{1.96}{\sqrt{25-4}} < \tau < 0.8692 + \frac{1.96}{\sqrt{25-4}}$$

$$\therefore 0.4422 < \tau < 1.2962$$

이것을  $\rho$ 로 나타내면

$$0.4154 < \rho < 0.8754 \quad (\tau = \tan h^{-1} \rho)$$

即 母集團에 있어서 fineness와 mill 時間當生 產量의 相關係數는 危險率 5%下에서 clinker 溫度보다는 덜하나  $0.4154 \sim 0.8754$  사이에 있어 相當 程度의 相關性이 있다.

### 4. 結 論

Cement mill에 있어서 feeding clinker의 溫度( $x$ )와 cement 粉末度( $y$ ), mill의 時間當 粉碎量( $z$ )間에는 密接한 關係가 있음이 밝혀졌다. 이것을 線型回歸方程式으로 나타낼 경우 다음과 같이 된다.

$$z = 44,130 - 0.0657x + 2.0953y$$

但,  $z$ : mill의 時間當粉碎量(T/hr)

$x$ : clinker 溫度( $^{\circ}C$ )

$y$ : cement의 粉末度(170 mesh residue %)

cement 粉末度가 一定線을 維持한다고 假定할 경우(例 2%), clinker 溫度가 每  $10^{\circ}C$  上昇할 때 마다 #3 cement mill의 時間當 粉碎量은 約 0.7 T/hr. 씩 低下된다. 또한 clinker 溫度變化가 없다고 假定하면(例  $80^{\circ}C$ 維持), fineness가 0.1% 上昇할 때 마다 mill 粉碎量은 約 0.2T/hr 씩 增加한다. 이 數值들은 危險率 1%下에서 高度의 신빙성이 있다. 또한 clinker 溫도와 mill 粉碎量間에는 危險率 1%에서 87.5%程度의 密接한 相關關係가 存在하며 cement의 粉末度와 mill 粉碎量間에는 危險率 1%에서 70.1%程度의 相關性이 存在한다.

9月과 10月中 #3 cement mill에서 cement ton 當 電力消費는 平均 44.3kWh/T 였다. 따라서 feeding clinker 溫度가  $10^{\circ}C$  上昇하면 cement ton 當 電力消費는 大體的으로

$$44.3 \times \frac{40.7}{40} \approx 45.1 \text{ kWh/T가 되어 約 2\%가}$$

더 消費된다. 지금 月間 50,000 ton의 cement를

粉碎한다고 할 경우 Clinker 溫度가 平均 10°C 低下되나

$$50,000T \times 0.8 \text{ kWh} \times 4.5 \text{ 원} = 180,000 \text{ 원}$$

20°C 低下되면 360,000원의 月間電力費가 節減되는 것으로 概算된다.

現場에서 이러한 사소하고 대수롭지 않은 것으로 看過하기 쉬운 部分에서 부터 한 발자욱씩 改善해 가도록 努力하는 것이 作業의 標準化 合理化의 길이 될 것으로 생각된다.

× × ×

註 1) 線型重回歸方程式에서 獨立變數가 2인 경우의 正規方程式의 誘導,  $Z_i$ (觀測值)에 對한 線型 回歸方程式은  $Z'_i = c + ax_i + by_i$  라 놓으면  $c, a, b$ 에 對한 最大推定値는 最小自乘法을 適用 다음 的 平方和를 最小로 하는 것이다. 即

$$E = \sum (z_i - z'_i)^2 = \sum (z_i - c - ax_i - by_i)^2 \dots \dots \dots ①$$

$c, a, b$ 에 對한 偏導函數를 求하여 0으로 놓으면 다음과 같은 式을 얻는다.

$$\frac{\partial E}{\partial c} = \sum 2(z_i - c - ax_i - by_i)(-1) = -2(\sum z_i - nc - a\sum x_i - b\sum y_i) = 0$$

$$\therefore nc + a\sum x_i + b\sum y_i = \sum z_i \dots \dots \dots ②$$

$$\frac{\partial E}{\partial a} = \sum 2(z_i - c - ax_i - by_i)(-x_i) = -2(\sum z_i x_i - c\sum x_i - a\sum x_i^2 - b\sum x_i y_i) = 0$$

$$\therefore c\sum x_i + a\sum x_i^2 + b\sum x_i y_i = \sum z_i x_i \dots \dots \dots ③$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = \sum 2(z_i - c - ax_i - by_i)(-y_i) = -2(\sum z_i y_i - c\sum y_i - a\sum x_i y_i - b\sum y_i^2) = 0$$

$$\therefore c\sum y_i + a\sum x_i y_i + b\sum y_i^2 = \sum z_i y_i \dots \dots \dots ④$$

②를 整理하면  $c + a \frac{\sum x_i}{n} + b \frac{\sum y_i}{n} = \frac{\sum z_i}{n}$   
 $\therefore c = \bar{z} - a\bar{x} - b\bar{y} \dots \dots \dots ⑤$

③, ④에 ⑤式을 代入 정리하면 다음式을 얻는다.

$$\left. \begin{aligned} a\sum x_i(x_i - \bar{x}) + b\sum x_i(y_i - \bar{y}) &= \sum x_i(z_i - \bar{z}) \\ a\sum y_i(x_i - \bar{x}) + b\sum y_i(y_i - \bar{y}) &= \sum y_i(z_i - \bar{z}) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots ⑥$$

그러면

$$\left. \begin{aligned} \sum x_i(x_i - \bar{x}) &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\ \left\{ \begin{aligned} \sum x_i(x_i - \bar{x}) &= \sum x_i^2 - (\sum x_i)\bar{x} = \sum x_i^2 - n\bar{x}^2 \\ \sum (x_i - \bar{x})^2 &= \sum x_i^2 - 2\bar{x}\sum x_i + \sum \bar{x}^2 = \sum x_i^2 - 2n\bar{x}^2 + n\bar{x}^2 = \sum x_i^2 - n\bar{x}^2 \end{aligned} \right. \\ \therefore \sum x_i(x_i - \bar{x}) &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\ \sum x_i(y_i - \bar{y}) &= \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \end{aligned} \right\}$$

$$\sum y_i(z_i - \bar{z}) = \sum (y_i - \bar{y})(z_i - \bar{z}) \text{ 이므로}$$

$$\left. \begin{aligned} ⑥式은 다음과 같이 變形된다. \\ \left. \begin{aligned} a\sum (x_i - \bar{x})^2 + b\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\ = \sum (x_i - \bar{x})(z_i - \bar{z}) \\ a\sum (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) + b\sum (y_i - \bar{y})^2 \\ = \sum (y_i - \bar{y})(z_i - \bar{z}) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots ⑦ \end{aligned} \right.$$

지금  $\sum (x_i - \bar{x})^2 = S_{(xx)}$   
 $\sum (y_i - \bar{y})^2 = S_{(yy)}$   
 $\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = S_{(xy)}$   
 $\vdots$   
 $\sum (y_i - \bar{y})(z_i - \bar{z}) = S_{(yz)}$  라 놓으면  
 $\left. \begin{aligned} aS_{(xx)} + bS_{(xy)} &= S_{(xz)} \\ aS_{(xy)} + bS_{(yy)} &= S_{(yz)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots ⑧$

의 正規方程式을 얻는다.

한편 ⑤式에서  $c = \bar{z} - a\bar{x} - b\bar{y}$ 를 基本回歸方程式

$Z'_i = c + ax_i + by_i$ 에 代入  $Z'_i = z$ 라 놓으면

$$\begin{aligned} Z &= \bar{z} - a\bar{x} - b\bar{y} + ax + by = \bar{z} + a(x - \bar{x}) + b(y - \bar{y}) \\ &= \bar{z} + \frac{r_{xz} - r_{xy} \cdot r_{yz}}{1 - r_{xy}^2} \sqrt{\frac{S_{(xz)}}{S_{(xx)}}} (x - \bar{x}) \\ &\quad + \frac{r_{yz} - r_{xy} \cdot r_{xz}}{1 - r_{xy}^2} \sqrt{\frac{S_{(yz)}}{S_{(yy)}}} (y - \bar{y}) \end{aligned}$$

註 2) 試料의 크기가 相當히 크고 ( $n \geq 100$ ) 母集團의 偏相關係數( $\rho$ )의 絕對值가 그리 크지 않을 때 即  $|\rho| < 0.6$  일 때는 母集團은 正規分布에 가까우므로

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-3} \text{ 式에 依해서 檢정이 된다.}$$

本問題와 같이  $n$ 가 比較的 작고 ( $n=25$ )  $|\rho|$ 가 1에 가까워지면 母集團은 正規分布에서 相當히 離脫되므로 嚴密히는 위의 式을 適用시킬 수가 없다.

그러나  $Z = \tan^{-1} r = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$ 에서 求한  $z$ 를  $r$ 代身 使用하게 되면 正規分布로 取扱可能함이 알려졌다.

× × ×

**參考文獻**

- 1) C.A.BENNETT N.L. FRANKLIN 共著 奧津恭譯 統計解析(II)
- 2) 金俊輔著 推測統計
- 3) 金俊輔著 現代統計學
- 4) 田口玄一著 實驗計劃法(上, 下)
- 5) 東京工大統計工學研究會刊 統計工學便覽
- 6) 中里博明著 統計的手法(I) (1968. 11. 20 接受)