

セメント工業最近の趨勢

大阪窯業セメントKK * 植 村 次 郎

I はしがき

国土の復興並に開発に伴つて最近の本邦セメント工業の活況は誠に著しいものがある。生産数量においては戦前最高昭和14年の620万屯に対し、昭和26年に於ては650万屯と之を凌ぎ、逐年増加の一途を辿り昭和29年には遂に1060万屯の数字を示すに至つた。然も今後尚増加の態勢にある。又輸出の面から考えれば、全生産数量の10%が海外に出荷され、その原料、燃料の面より見れば、外貨獲得に大きな役割を果しているが更に之を伸長せしめるには是非共一層安価で然も一層品質の良いものを造らねばならぬ。

このことは国内に就いても全く同じことが云える。

この意味において最近我國セメント工業界は製造の合理化を計り、回転窯の延長、クリンカー急冷器の装備、計器による運転等の新しい方向に進みつゝある。以下是等の点について諸外国の例を参照して記述する。

II セメント焼成窯について

1824年に Joseph Aspdin がポルトランドセメントに関する特許を取つてから今日のポルトランドセメントが一般に使用される様になつたのであるが、当時のセメント焼成窯は一種の堅炉と考へられる徳利窯であつて、その後かなりの年月の間徳利窯の一種の改良型であるデーチ炉が使用されていた。1873年に Ransome が回転窯を使用して微粉炭でセメントを焼成することに成功してからは、この焼成法が徳利窯乃至はそれの進歩したデーチ窯に較べてクリンカー単位当りの消費石炭量はより多く必要としたけれども、大量生産に適していること及び製品品質が均齊で優れている利点があつたので、回転窯の使用が急速に全世界に拡がつた。

(A) 回転窯について

回転窯の大きさは其後幾分長大化する傾向はあつたが、1940年頃までは大した変化は認められず、一般に $\phi 3.5\text{m}$ 、160~80m程度の大きさのものが多かつた。斯様な回転窯で微粉炭、重油乃至は天然ガスでセメント焼成を行うと、燃焼ガスは保有熱量を十分に原料に与えない中に窯から出てしまう割合が多いので、その廢熱を利

用するために多くのセメント工場に於ては余熱ボイラーを使用して発電を行い、又は窯尻附近に鎖のカーテンを吊して熱交換の向上を計つていた。この間にあつてポリジウス社のレポール窯はこの余熱を有効に利用したものとして或る程度各地で使用せられる様になつた。

この窯の特徴は回転窯の長さは普通の回転窯の半分程度であるが後部に熱交換装置が附属していることである。原料粉末は造粒機中で多少の散水と回転運動とによつて直径1~2cmに造粒せられ、これがチェンプレート上に一定の厚さの層に拡げられ回転窯の方向に移動する間に、回転窯の廢ガスをその層の上方から下向に通過させて廢ガス保有熱量を原料造粒物に効果的に授与する様になつてゐる。

セメント工業に於ける最大の課題は如何にして燃料消費量を削減するかと云うことで、在来から熱経済の問題は取上げられていたのであるが、近年燃料の世界的な昂騰が原因となつて更にこの問題が重要視される様になつた。

(a) 長大窯

熱効率を向上させるために回転窯の長さ(L)と内径(D)との比(L/D)を増加する方法がある。例へば Anselm の報告による(L/D)と単位クリンカー当りの所要カロリーの関係を引用すれば第1図の様である。

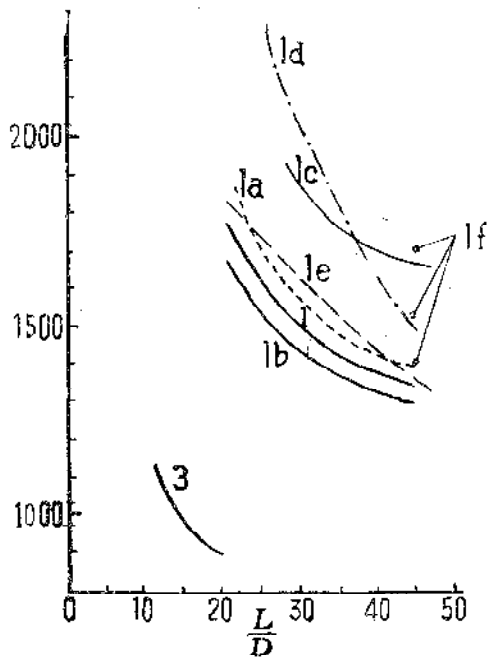
在来の回転窯は60~80mの長さの窯が最も多くL/Dは20程度であつたが、近年電力の安価な米国に於て発達し世界各地に盛んに普及しつゝある。長大窯は、その長さが在来の窯の約2倍もあり(L/D)が40以上に達するものもある。断様な長大窯に於ては、窯からの廢ガス温度は200°C前後にまで低下してゐてその熱効率の良好なことが推定せられる。

我國に於ても電力価格は燃料価格程高騰してゐないので、建設費の減価償却も考慮に入れて、発電設備を有しない長大窯が採用され初めた。

長大窯と短少窯の燃料経済比較は、米、独の報告²⁾によると次の通りである。

即ち乾式の場合では、同一工場で長大窯(3.3×120m)と短少窯(3.0×46m)とを同時に運転した時前者は208kg coal/t clinker、後者は280kg coal/t clinkerの燃料消費量であつた。即ち兩者の間に約28%の差異がある。

* 大正区南恩加島町1



		運転状態	D	焼成具合	燃料	
1	湿式	Kcal/kg	正 常	正 常	中 位	微粉炭
1a	"	"	"	"	焼にくい	"
1b	"	"	"	"	容 易	"
1c	"	"	強 化	"		"
1d	"	"	悪 い			"
1e	"	"	良 好			"
1f	"	"				油
3	レポール	"		正 常	中 位	微粉炭

第 1 図

次に湿式の場合では長大窯と普通窯(予熱ボイラー付)とのクリンカー当りの所要熱量の間に第1表の如き関係が存在する⁴⁾。即ち湿式に於ても長大窯と普通窯との間には所要熱量に於て

$$\frac{1670-1450}{1670} \times 100 = 13\%$$

約13%の差異があることになる。

長大窯の有利な点を列記すると次の様である。

- ① 窯の熱効率が良いのでクリンカー当りの燃料消費量が僅少である。

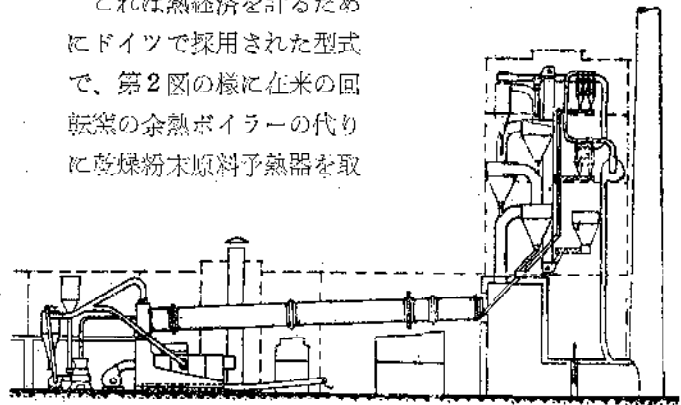
第 1 表

長 　　き	所要総熱量 Kcal/kg クリンカー	予熱発電として回収された Kcal/kg クリンカー	クリンカー当りの所要熱 量 Kcal/kg クリンカー
湿式長大窯鎖付き	1450	0	1450
湿式普通窯(予熱利用)	2100	430	1670

- ② 湿式工場の場合には原料スラリーのまま窯に送り込み得るので濾過機等の複雑な設備の要がない。
- ③ 廃ガス温度が低いので余熱発電は行はない。従つてボイラー、タービン等は不要である。その他廃熱利用設備は不要である。
- ④ ダストの飛散が少ないので高圧な電気収塵設備も必要としない。

(b) 熱交換機を有する回転窯

これは熱経済を計るためにドイツで採用された型式で、第2図の様に在来の回転窯の余熱ボイラーの代りに乾燥粉末原料予熱器を取



第 2 図

付けたものである。⁴⁾ 窯から出た廃ガスはシリーズに4個のサイクロンを通る。原料はサイクロンの上から投入せられ廃ガスと熱交換を行つてサイクロンの下に出る。この熱交換機は原料がガス中に懸濁状態となることから、サスペンション予熱器と呼ばれている。

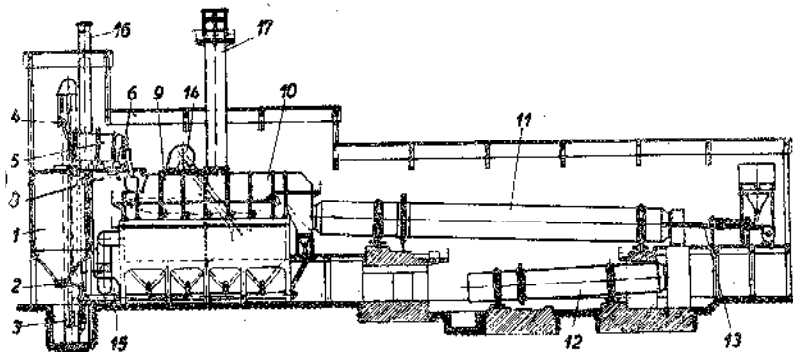
最初これを作つたのは独の Klöckner-Humboldt 社ですでに数工場に設置されているとのことである。

第2表は独及び米国における実績を示したものである。⁴⁾ 表から燃料原単位が30~40%減少していることが判明し、本法がかなり優れていることを物語っている。

次にレポールキルンも第3図の様に改良が加えられ、従来のものより熱効率が一段とよくなつている。⁵⁾ 砂塊が火格子上来たときあまり急激に加熱すると壊れる恐れがある為、古い型の窯では乾燥室に入るガスは一部冷たい空気を加えて300°C位に下げている。新しい窯ではこの様な冷却空気添加をしていない。回転窯から出る廃ガスの温度は1000°C、このガスが高温室を通過して乾

第 2 表

	焼 出 量 (t/day)		熱所要量 (Kcal/kgクリンカー)		原 料 予 熱 温度 (°C)	熱消費減少 (%)
	設 置 前	設 置 後	設 置 前	設 置 後		
1	143	205	1470	976	815	33.3
2	223	304	1370	917	670	35.2
3	—	350	—	910	705	—
4	154	236	1420	975	712	31.2
5	—	289	—	908	800	—
6	144	256	1630	952	775	41.0
7	133	205	1470	952	732	34.7



第 3 図

燥室に入るときは 300°C であり、煙突から出るときには 90°C にも下つている。燃料原単位は非常に低く 800 ~ 900kca/lkg クリンカーと云われている。

(B) 堅窯について

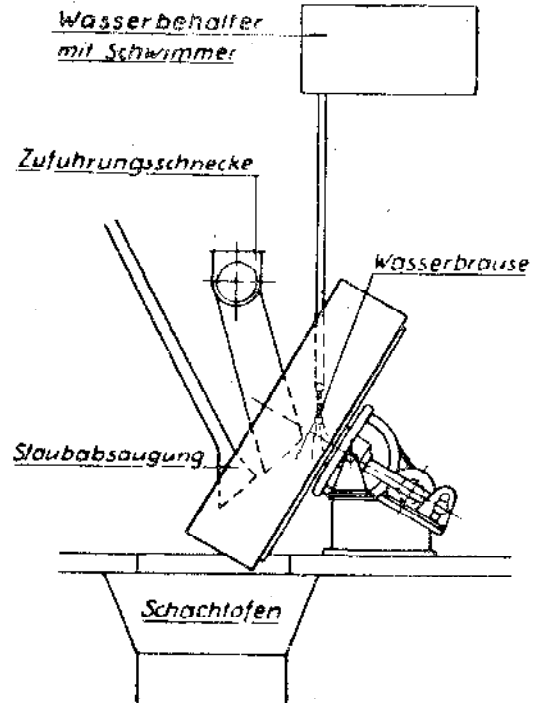
回転窯では粉末原料をそのまま送窯し焼成可能であるが、堅窯では或る程度以上の強さを有する団塊が必要であるため、以前は煉瓦型にプレスして使用していた。斯様な大きな成型物では、焼成が成型物の内部と外部と相違する場合が多く、又成型物が大きい結果としてドラフトを正確に調節することが困難であるために製品の品質が低下する原因となり、従つて堅窯は熱経済の点に於ては在来の回転窯より勝つていたが、均質優秀な製品を得難く、良質の石炭又はコークスも必要とし、原料の成型に難点があり人手を要することが多かつた。

それで近年に於ては上に述べた堅窯の不利な点が大巾に改良せられ、ヨーロッパ諸国に於て新型堅窯が續々建設されつゝある。

斯様に回転窯に圧倒されていた堅窯が再び盛んに使用されるに至つた理由は、新しい造粒法の採用である。この造粒機の代表的な型式のものについて述べると、次の様である。即ち造粒機の本体は傾斜した軸の周りに回転する容器から出来ていて、これに原料、燃料混合物を投入すると、容器の回転する方向に底部にあるものゝ回転と材料の重みとが互に作用して回転運動を引起す。これ

に水を添加すると個々の粒が転がり運動に依つて生長する。粒の大きさは排出量並に容器の傾斜に依つて変えられる。

米国並にスイスではこの造粒機は既に多くのセメント工場で回輪窯への原料の装入に使用されている。第4図は堅窯上に設置された造粒機の構造を示し、6、第3表は堅窯用原料造粒物の大きさの変遷を示したものである。7)



第 4 図

最近の堅窯に於ては φ5mm 程度の造粒物を使用している。斯様な小さな造粒物を堅窯に使用すると、窯の通気抵抗は大きくなるので送風機の馬力はより多く必要とするが、通気の調節は正確で平均に行はれ、造粒物内部及び外部の焼成がほとんど等しく行はれるので、均質な

第3表 シヤフトキルン用原料造粒物の進歩

年代	造粒物形状	窯中造粒物の平均大きさ	窯中造粒物の概数
1900	煉瓦形	煉瓦の大きさ 150~100mm	<30,000
1915	圧縮して作った円筒形	45	140,000
1925	"	16	380,000
1935	成型体	12直径	1,000,000
1950	珠状に造粒	9	3,000,000
1952	"	5	74,000,000

クリンカーを製造することが出来る。

第4表は窯の進歩の跡を示したものである。7) 即

第 4 表

年 代	1915	1925	1950	1952
l in m ϕ S = 焼成帯				
焼出し量 t/day	35-55	70-90	165-190	220
燃料消費 Kcal/Kg	1644-1400	1300-1200	1100-1000	900
燃料空気 m ³ /min	50-65	80-100	140-150	165
空気圧力 kg/cm ²	100-300	500-700	1400-1500	1600
空気温度 °C	500	400	300	275
クリンカー温度 °C	450	400	275	250

も1925年までは窯の寸法が次第に大型になりつつあったが、1950年以降は1925年頃に比較して反対に小さくなり、焼成帯は薄く窯の上端近くに移動せしめる様になった。

斯様にすることに依つて造粒物の急速な焼成と冷却とを可能ならしめ、上述の造粒物の小型化と相俟つて品質の均齊と向上を達成することが可能となり原料の投入並に製品の取出し等を自動化することに依つて人手を省略して工業的に回転窯に対抗し得る様になった。斯様に改善せられた新型窯に於ては、燃料原単位は実に 83万 kcal/t クリンカーにまで減少せしめることが出来る様になった。

III クリンカー冷却機について

回転窯から出たクリンカーは、セメントの品質をよくする為には急冷しなければならぬし、熱経済の上から

もクリンカーの完全な冷却が望ましいのでこれに適したクーラーが必要となつてくる。

(A) 在来の冷却機

①アンダークーラー；窯とクーラーとが別々になつていてクーラーは回転乾燥機と同じ構造をもっている。

②多筒式クーラー；窯の下端に十数本の小さなクーラーがついている。

③ブロー式クーラー；回転窯の一部がクーラーとなつている。

(B) 最近の冷却機

クリンカー急冷の必要性については種々の報文で紹介されているが、こゝにそれらを要約すると

①セメントに有害な free CaO, free MgO を減少させるに有利である。

②クリンカーの保有する熱量をよく回収する。

③急冷却されたクリンカーは粉碎しやすく、又そのセメントは耐硫酸塩性である。

等である。

この様な目的のために作られたエア・クエンチング・クーラー (air quenching cooler) では Fuller 社の傾斜グレート式、allis Chalmer 式及び F.L. Smidth 社のフォーラックス・クーラー (Folax cooler) がある。これらのクーラーは細部にはかなりの差があるがいずれも強制通風による急冷却の点では同一原理のものである。

長いグレート上を徐々に移動するクリンカーに対し下から 50~100mm W.C 程度の加圧空気を吹き込んで急冷却を行うもので、クーラーを出たクリンカーは 50~70°C 位の温度であり従来のクーラーに較べて非常に低い。それ故クーラーの熱回収率はよく、クリンカーと熱交換した空気の一部は二次空気として用いられるので、その温度は 800°C にも達する。在来のクーラーに代えてエアクエンチングクーラーを取付ければ約15%程度の熱量の節約が可能であると云はれている。

IV 計器による運轉について

工賃の高い欧米諸国に於てはすでに計器によるセメント工場の自動運轉が、数多くのセメント工場に採用され稼働している。計器に依る運轉を行つて始めて品質の均一化、生産量の向上、原単位の通減が達成せられる。近年我が国に於ても計器に依る回転窯の管理が行はれ始めた。

計器に依る自動運轉はセメント製造の各工程に於て採用されているが、その中の特に重要なものについて例を挙げると次の様である。

(a) 回転窯の計器に依る運轉各種必要計器を一ヶ所

に集中して（例へばドラフトメーター、O₂、CO₂、COメーター、各種流量計等々）そのメーターを監視しながら遠隔制御する。

(b) 計器に依る回転窯の自動焼成

アメリカのベリー社がその装置を出しているが窯内の O₂ を自動的に計量して送風量、送炭量等を電気的に制御する完全に人手を要しないもの。

(c) エレクトリックタイヤーに依るミルの自動制御

アメリカに於て行なわれているミルの粉碎音で送込量を自動的に制御する方法で、エレクトリックタイヤーで自動制御を行うと製品の品質は均斉になり粉碎能率は向上すると云はれている。

これ等の他にセメントタンク中のセメント在庫量を自動的に計量し又別にセメントタンクへの送込みを自動的に切替える様にしたり、セメント試料も自動的に採取する等種々のものもある。

V 我が国の現状

前述した如く我が国の焼成窯は殆んどが回転窯でその長さは 60~80m である。昭和29年9月現在回転窯の数は 106基で、26~28m 長さのレポール窯が 5 基あり長大窯は 3 基で、堅窯としては現在計画中のものが 2 基ある。

第5表は本邦の窯の原単位を示したものである。

第 5 表

様 式 別	熱所要量 Kcal/kg	電力 (Kwh/t)	
		使用量	自家発電
乾 式	1721	146	135
湿 式	1934	148	127
レポール	1479	160	—
平 均	1752	150	135

クーラーは29年9月現在エアクエンチングクーラーが 31基あり他は多筒式クーラーが約50基アンダークーラーが約30基であり、エアクエンチングクーラーは今後次第に増加して行くものと思はれる。通産省の調べによればエアクエンチングクーラーは昭和30年度に約35~40基、32年には70基以上にも達するであろうと云われる。かくの如きエアクエンチングクーラー増設の原因はその熱回

収率のよいことに依るのであり、某工場ではその設置により燃料原単位を 290kcal/kg クリンカーも減少し得たことが報告されている。

計器に依る運転は未だ完成をみていないが、某社ではエレクトリックタイヤーに依るミルの自動制御に成功しているし、又或る工場にては廃ガスの連続分析の自動記録装置を完成しているので近いうちにこの方面の大手の進歩が期待されている。

かく考えるとき本邦のセメント工業の姿もここ数年のうちに面目を一新することを期待するのは故なきにあらざる感がする。

VI 結 び

以上セメント工業の進歩と趨勢を焼成窯、冷却器、計器による運転等について略述しあわせて我國の現状についてもふれた。

工業技術の進歩と共にセメント工業も進歩し今までの人手に依る短かい回転窯での焼成方法から、長い回転窯新しいレポールキルン及び堅窯も使用される様になり、著しく燃料原単位を減少し、加えてクーラーもエアクエンチングクーラーを設置することにより熱回収率も非常によくなつて来ている。運転状態を一定に保つこと及び計器類に依る窯の合理的管理は、すでに外国では広く普及し本邦にても二、三の工場にて行はれつゝある。本邦のセメント工場の自動制御は一朝一夕に完成するとは云い難いが、いずれは完成することゝ期待される。

セメント工業としては原料の採掘から始まつて製品の搬出に至るまでの各種工程に於て日覚しい進歩が行はれているが、紙面の都合からセメント工業中の極々一部であるが、比較的重要な部門である焼成並に冷却等に主眼を置いて、その部門に於けるセメント工業の趨勢について簡単な紹介を行った。

文 献

- 1) W. Anselm: Zement-Kalk-Gips- 6, 151, (1953)
- 2) B. Nordberg: Rock Products 8, 133, (1952)
- 3) W. Anselm: Zement Kalk-Gips 2, 84, (1949)
- 4) B. Nordberg: Rock Products 10, 68, (1954)
- 5) F. Lans: Zement-Kalk-Gips, 5, 347, (1952)
- 6) K. Meyer: Zement-Kalk-Gips 5, 175, (1952)
- 7) 小柳: セメントコンクリート No. 80, 20(1953)