J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 11, No. 3, 2002, 46-59
≫ 技術資料 ≪

고로수쇄슬래그 미분말의 국내 · 외 재활용 현황 및 자원화 기술

†吳在賢 · 安芝煥*

延世大學校 名譽敎授, *韓國地質資源硏究院 資源活用硏究部

Processing & Recycling of Granulated B.F Slag

†Jaehyun Oh and Jiwhan Ahn*

Dr., Professor Emeritus of Yonsei University,
**Institute of Geosciences and Mineral Resources*

1. 머리말

수쇄슬래그 용도가 시멘트 혼합재로 편중되어 국내 시멘트 경기에 따라 크게 좌우되어 1998년과 같이 IMF로 인한 국내 경기 불황 시 전년대비 70%이하 수준으로 활용되고 있는 실정이다. 그러므로 POSCO에서도 일본, 대만 등에서와 같이 수쇄슬래그를 미분말로 생산하여 레미콘 혼화재로 사용용도를 개발하여 수쇄슬래그 활용량을 증대 및 고부가가치화 시킬 필요성이 절실하다.

한편, 고로슬래그 미분말을 레미콘의 혼화재로 사용시 콘크리트의 長期强度, 低水和熱 및 化學抵抗性 등 유효성이 평가되고 있다. 또 고로슬래그 미분말은 수경성을 가진 고로 수쇄 슬래그를 원재료로서 사용하기 때문에 제품의 제조에 소성 공정이 필요하지 않게 되어 이산화탄소의 발생이 거의 없고, 현재 사회적으로 요청되고 있는 지구 환경 보존과 자원 리싸이클링 등의 면에서도 좋은 재료이다.

따라서 본 연구에서는 POSCO 발생 고로 수쇄슬래그를 미분말로 제조한 후 레미콘용 혼화재로 공급할 경우 타 경쟁 혼화재 대비 품질, 경제성 및 수요물량 등을 조사하여 미분말제조사업의 활성화를 검토하고, 외국과도 비교 검토하였다.

2. 개 요

Fig. 1 은 2001년도 POSCO 고로슬래그 처리 개황을 도시한 것이고, Table 1 은 고로슬래그의 용도추이를 표시한 것이다.

Table 2 는 한국, 일본, 대만의 고로슬래그 微粉末의 이용비교('97년도)를 한 것이다. 일본, 대만 모두 시멘트 총 생산량 대비 19%의 微粉末을 이용하고 있으나, 한국은 9%에 불과하다. 즉 한국은 슬래그 미분말의 이용이 더욱 신장되어야 함을 시사하고 있다.

Table 1. 고로슬래그의 용도 추이 단위 : 만톤

년도	고로슬래그 발생량	수쇄슬래그	수쇄율	OPC 증량材	Slag Cement 用	Slag Cement 用率
'97	850	510	60%	250	260	51%
'98	815	394	48%	168	180	46%
'99	799	457	57%	174	255	56%
2000	819	560	68%	133	394	70%
2001	824	584	71%	125	412	70%

† 2002년 3월 5일 접수, 2002년 4월 15일 수리
† E-mail: kirr@kirr.or.kr

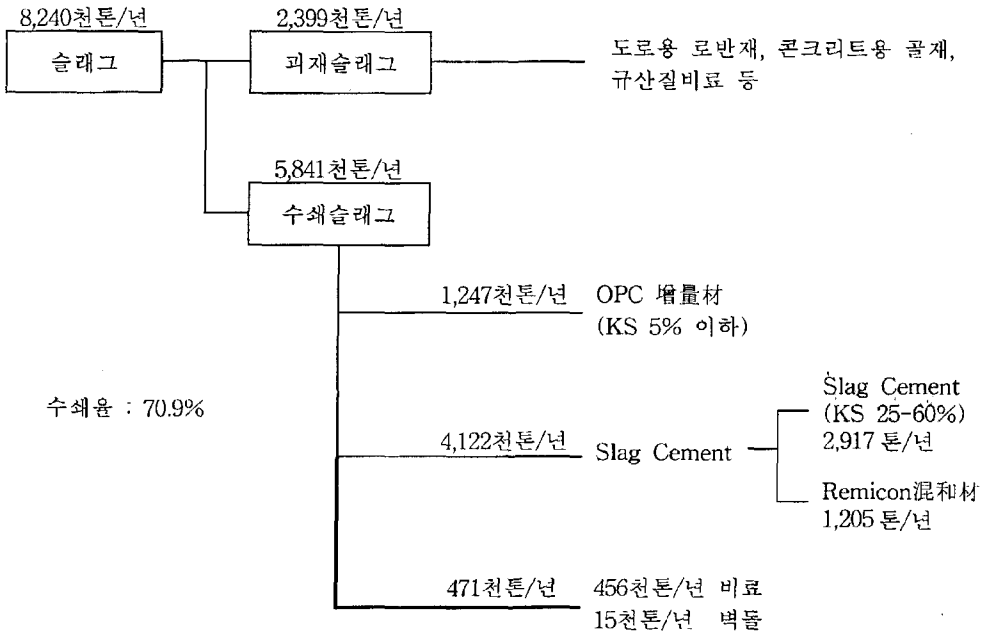


Fig. 1. 1. POSCO 고로슬래그 처리(2001).

Table 2. 고로슬래그 微粉末 이용 비교('97년도) 단위 : 1,000톤/년

	한 국	일 본	대 만
OPC 생산량(내수량)	58,771	72,382	21,000
슬래그시멘트 생산량	4,940(8.4%)	16,096(18.0%)	80(0.4%)
미분말 생산량 (4,000~4,500 blaine)	2,580	7,436	3,850
미분말 레미콘 혼화량	420(0.7%)	744(0.8%)	3,810(18%)

( ) : 시멘트 총생산량에 대한 비율

3. 우리 나라 수쇄슬래그의 이용

Fig. 2 는 우리 나라 업체별 POSCO 수쇄슬래그 수송 현황('97년)을 도시한 것이다. 포항 연관단지 : 694천톤, 광양 연관단지 : 1,931천톤, 중부와 내륙지역 : 1,273천톤, 동해안 : 1,038천톤 그리고 수출용 : 262천톤, 계 5,198천톤이 슬래그시멘트용(레미콘용 포함), 시멘트증량재용으로 수송되고 있는 것이다.

그러나, 전국 지역별 레미콘 판매량에 있어서는, 경인지역이 38%('97년도)와 40.7%('98년도)를 차지하고 있다. 上記 수송패턴(Fig. 2)과, 전국 지역별 레미콘 판매량을 대비할 때, 경인지역에 슬래그 미분말 공장을 신설하여, 동해안과 중부내륙의 슬래그 수송량을 흡수한다면, 수송비 절감은 물론, 우리 나라 시멘트산업 및 콘크리트 산업에도 매우 합리적인 試圖임을 생각케한다.

'97년도 비공식적인 집계에 의하면 前記 슬래그시멘트 일부 공장에서 슬래그 미분말을 레미콘 混和材로 공급하고 있다. Table 3 은 이들 미분말의 공급량을 표시한 것이며, 42만톤/년의 슬래그 미분말이 이미 레미콘 혼화재로 이용되고 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3 은 S양회, B공장의 수쇄슬래그 이용 물류추정('99년도)을 도시한 것이다.

Table 4 는 전국 지역별 레미콘 판매량 및 슬래그 미분말 사용 추정량을 표시한 것이다. 레미콘을 위한 시멘트 사용량의 22%에 해당하는 량의 슬래그 미분말을 레미콘 혼화재로 사용한다면, 레미콘용 슬래그 미분말의 수요는 약 700만톤/년에 달할 것이다. Fig. 4 는 기초소재 주식회사(사장 : 崔正昊, 인천광역시 동구 만석동

Table 3. 수쇄슬래그 미분말 설비 용량 및 미분말 레미콘 혼화재 공급량

지역	공장명	설비용량 (T/H)	공급지역	공급량 (톤/월)	비 고
포항	한국고로 제철세라믹 한일	48 10 25	울산, 포항 〃 〃	3,000 1,000 2,000	가격은 공급자간 과잉경쟁을 피하기 위해 협의결정
광양	고려 쌍용 대한 한라 동양	75 85 73 50 50	- - - - 자체계열 레미콘14개공장	- - - - 19,000	수도권지역 공급개시
부강	성신	100	경인지역	10,000	'97. 11월부터 공급

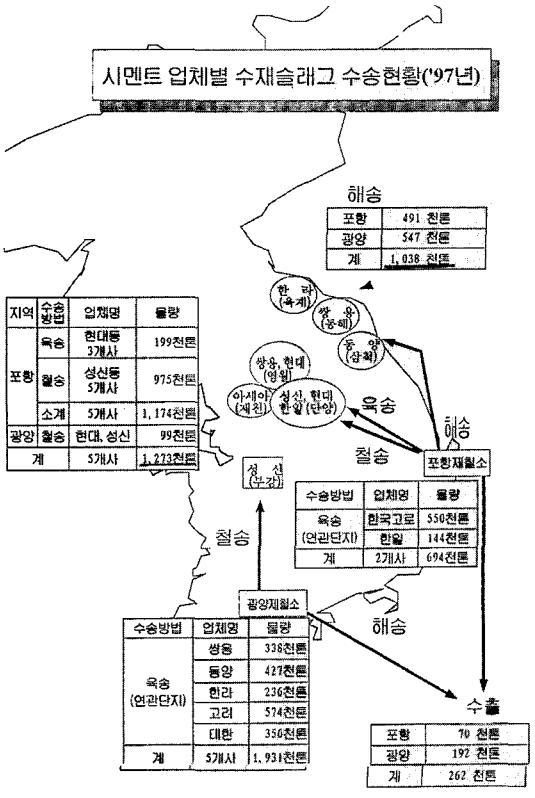


Fig. 2. 우리 나라 업체별 POSCO 수쇄슬래그 수송현황('97).

2-23, Tel : 032)777-7872)의 미분말 제조공정을 도시한 것이다. 기초소재(주)는 2000년 12월에 공장을 준공, 2001년 2월에 상품을 출하하기 시작하여, 현재 수도권 레미콘 공장에 안정된 미분말을 공급하는 우리 나라 대표적인 고로슬래그 미분말 제조 회사이다. 필자가 "고로슬래그 미분말 제조사업 타당성 조사"를 수행(1998. 10.~1999. 3.)할 당시만 하여도 POSCO에 200만톤의 수쇄슬래그 재고가 싸여 있었다. 그러나 현재는 이 미분말의 수요가 급증하여, 레미콘 공장은 소요량의 미분말을 공급받지 못하여, 또 미분말 제조회사는 POSCO에서 소요량의 수쇄슬래그를 공급받지 못하여, 마음을 안타깝게 하고 있다. 불과 3년만에 격세지감이 있다. 이와 같이 앞으로 수쇄슬래그의 이용이 활발하게 전개될 것으로 기대된다.

뿐만 아니라, 미분말 제조사업은 수익면에서도(100만톤/년 제조시 100억원/년 이상의 수익이 추정) 매우 유망한 종목으로 주목을 받고 있다.

Photo 1 은 주식회사 기초소재의 고로슬래그 미분말 공장(인천)의 전경이다.

4. 石炭灰의 이용현황

石炭灰 특히 Fly ash의 이용은 대부분 레미콘 混和材로 사용하기 때문에 슬래그 미분말과 용도를 같이하고 있다. 그러므로, 석탄회의 이용현황을 슬래그 미분말과 대비해 보는 것도 의미를 갖고 있다. Table 5 는 11개 화력발전소에서 배출하는 석탄회의 재활용 현황을 표시하고 있다. 2001년도 석탄사용 전량은 40,795천톤이며, 4,914천톤의 灰가 발생하였다. 이중 재활용량은 3,109천톤으로 63.3%의 재활용율을 나타내고 있다.

2001년도 석탄회 용도별 재활용 실적에 의하면 콘크리트 혼화재용이 전체의 72.1%를 차지하고 있다. 그 다음이 시멘트 크링커 제조원료로 25.2%이며, 시멘트 2차제품 1.4%, 지반 · 성토 · 도로용골재 1.2%, 기타(합판접착제 · 연구용 등)가 0.4%로 구성되어 있다. Table 5

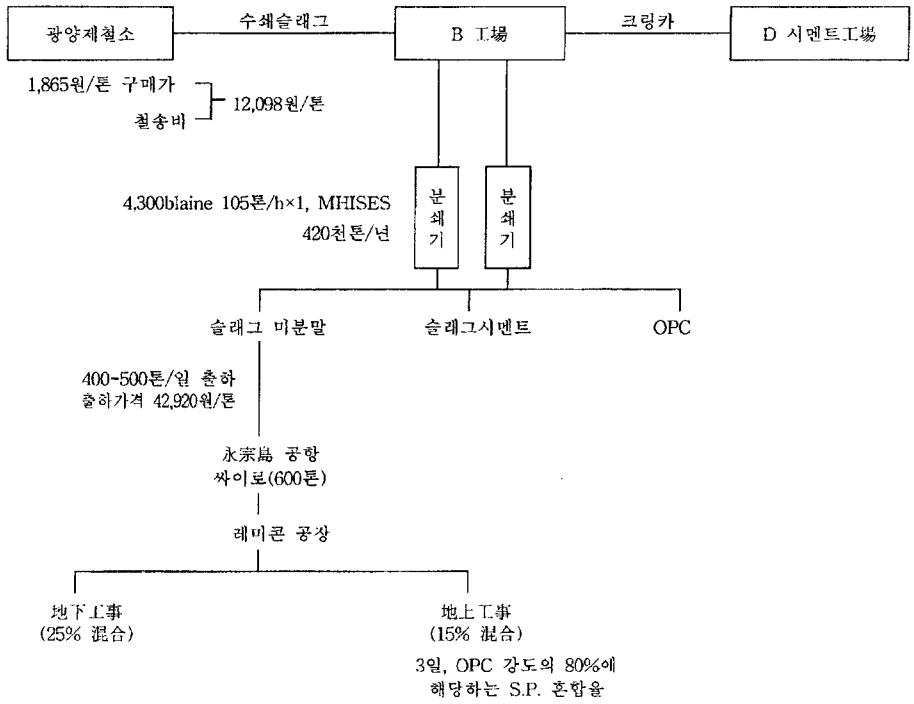


Fig. 3. S 洋灰, B工場의 物流 추정도(필자의 조사).

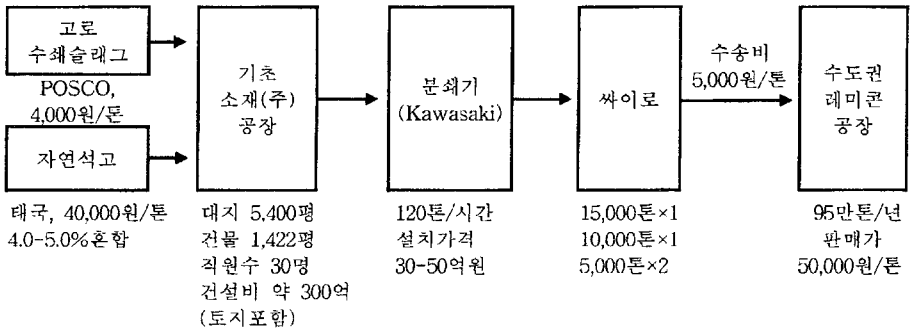


Fig. 4. 기초소재(주)의 미분말제조 공정(2002. 4.).

에서 알 수 있는 바와 같이 무연탄 발전소에서 배출되는 석탄회는 콘크리트 혼화재로는 활용할 수 없다는 것이다. 한편 역청탄 발전소 석탄회는 삼천포産만이 일부 시멘트 크링커 제조원료로 사용할 뿐, 나머지 발전소 석탄회는 콘크리트 혼화재로만 활용하고 있다.

Table 5 에서 주시해야 할 점이 있다. 첫째는 석탄회 재활용이 거의 100% 시멘트 분야만이 차지하고 있다. 두 번째는 콘크리트 혼화재용과 시멘트 크링커 제조원료용 비율이 72.1 : 25.2 라는 점이다. Table 6 의 日本에서의 예는 3.7%와 88.1%로, 우리 나라의 경우와 그 구성비를 크게 달리하고 있다. 어느 쪽이 바람직한 것인지, 그 구성비를 비교 분석해 보는 것이 앞으로 중요 과제의 하나로 사료된다.

Table 7 은 레미콘 혼화재로서의 수요를 예측한 것이다. 레미콘 혼화재로 석탄회의 사용은 7~10% 가능하며, 레미콘에 사용되는 시멘트량의 약 7%를 대체하고 레미콘업체의 50%가 정제회를 사용할 경우 중부지역에서 약 70만톤, 남부지역에서 약 40만톤의 정제회가 사용가능하다.

Fig. 5 는 우리 나라 중부지방에서 정제회의 유통을

Photo 1. (주)기초소재의 고로슬래그 미분말 공장(인천)

설명한 것이다. 발전소에서 발생한 석탄회는 286~1,200원/톤을 받고 정제공장에 판매한다. 이때 정제공장까지의 운반비는 1,000원/톤(정제공장 부담)이다. 정제공장에서 정제된 정제회(회수율 : 60~90%)는 실수요업체에게 8,000~8,800원/톤으로 판매된다. 실수요 업체는 14,000원/톤 판매가로 레미콘공장에 판매한다.

레미콘공장(경인지방)까지의 수송비 11,000~12,000원/톤과 이 14,000원/톤을 합한 25,000~26,000원/톤이 레미콘공장 도착가가 된다. 실수요업체가 레디콘회사(예: 아주산업)일 경우는 레미콘공장 도착가 20,000원/톤이 된다. 그러나 정제회의 출하는 레미콘 비수기(12, 1, 2월의 2개월 반과 우기 1개월)의 영향을 받는다. 최근(2002. 3) 정보에 의하면 Fly ash의 수요가 급증하여, 경쟁적으로 레미콘 혼화재로 사용하고 있다. 따라서 레미콘공장 도착가도 30,000원대 이상으로 상승하고, 발전소 Fly ash 배출가도 높아지고 있다는 얘기이다.

Table 8 은, Fly ash와 분말 슬래그를 콘크리트 혼화재로 사용 시, 그 장단점을 비교한 것이다. 이 표에서 알 수 있는바와 같이 분말슬래그의 특성이 월등히 우수하다. 그러나 가격 면에서 Fly ash가 약간 낮으며, Fly ash가 레미콘 혼화재로서 개발이 앞서고 있다.

5. 대만 및 동남아의 슬래그 미분말의 생산과 이용현황

5.1. 대만의 슬래그 미분말 생산과 이용현황

Table 9 는 대만에 있어서 슬래그 미분말의 수급현황을 표시한 것이다. 대만은 한국, 일본과 달리 슬래그 미분말을 거의 전량 레미콘 혼화재로 이용하는데 그 특색이 있다. Fig. 6 은 대만 수쇄슬래그 분말공장의 분포를

Table 4. 전국 지역별 레미콘 판매량 및 미분말 슬래그 사용 추정량

지 역	레미콘판매량(㎥/년)		'98 시멘트 사용량(톤/년)	S/P사용량 (톤/년)	비율(%)
	'97	'98			
서울, 경인	50,864,394	38,148,296	12,779,679	2,811,529	39.90
제주	1,809,459	1,357,094	454,627	100,018	1.43
부산, 경남	20,099,602	15,074,702	5,050,025	1,111,006	15.80
대구, 경북	15,663,947	11,747,960	3,935,567	865,825	12.30
광주, 전남	11,486,298	8,614,724	2,885,932	634,905	9.02
전북	6,564,222	4,923,167	1,649,261	362,837	5.15
대전, 충남	13,727,504	10,295,628	3,449,035	758,788	10.90
강원	7,123,942	5,342,957	1,789,890	393,776	5.59
계	133,196,735	96,083,697	32,187,805	7,081,140	100

*시멘트 사용 FACTOR : 0.335, 분말슬래그 FACTOR : 0.22 적용

Table 5. 발전소별 재활용 현황(2001년도)

발전소		석탄사용량 (만톤)	석탄회발생량 (만톤)	석탄회 발생률 (%)	재활용량 (만톤)	재활용율 (%)	재활용분야
역청탄	보 령	814.4	74.2	9.1%	51.0	68.7%	콘크리트혼화재
	삼천포	923.6	66.0	7.1%	48.5	73.5%	콘크리트혼화재, 시멘트원료
	태 안	591.7	60.1	10.2%	48.1	80.0%	콘크리트혼화재
	하 동	769.9	88.3	11.5%	54.5	61.7%	콘크리트혼화재
	당 진	554.1	62.5	11.3%	38.3	61.3%	콘크리트혼화재
	호 남	138.3	13.9	10.1%	-	0.0%	콘크리트혼화재
	소 계	3,791.9	365	9.6%	240.4	65.9%	-
무연탄	서 천	85.3	31.5	36.9%	4.3	13.7%	시멘트2차제품
	영 동	61.8	22.4	36.2%	3.9	17.4%	기타
	영 월	17.2	10.7	62.3%	8.7	81.3%	시멘트원료
	군 산	8.0	2.3	28.9%	-	87.0%	시멘트원료
	동 해	115.3	59.5	51.6%	51.6	86.7%	시멘트원료
	소 계	287.5	126.4	44.0%	70.5	55.8%	-
합 계		1,079.5	491.4	12.0%	310.9	63.3%	-

Table 6. 1998년도 日本의 석탄회 분야별 이용현황 (단위 : 천톤)

	1998
유효이용합계	5,090 (100%)
시멘트분야	3,620 (71.1%)
토목 분야	359 (7.1%)
건축 분야	289 (5.7%)
농림 · 수산분야	89 (1.7%)
기타	733(14.4%)

→

	시멘트분야
시멘트원료	3,190 (88.1%)
시멘트혼합재	297 (8.2%)
콘크리트혼화재	133 (3.7%)
계	3,620 (100%)

CCUJ : 전국석탄회 실태조사

Table 7. 레미콘 혼화재로 使用 需要豫測

구 분	중부지역(서울, 경기, 강원, 충남북, 전북)	남부지역 (부산, 경북, 경남, 전남)	비 고
총 시멘트소비량(만톤/년, 점유율%)	3,214 (60)	1,984 (38)	내수총량 : 5,223
레미콘사용 시멘트량 (만톤/년)	2,021	1,235	총사용량 : 3,304
정제회 수요예상(레미콘 수요의 50%대체시, 만톤/년)	70	43	레미콘사용시멘트의 7%를 F/A로 대체
정제설비 설치 또는 증설 발전소	보령, 태안	삼천포	무연탄회는 부적합
정제회 생산량(만톤/년)	75	26	

*자료 : 한국전력공사

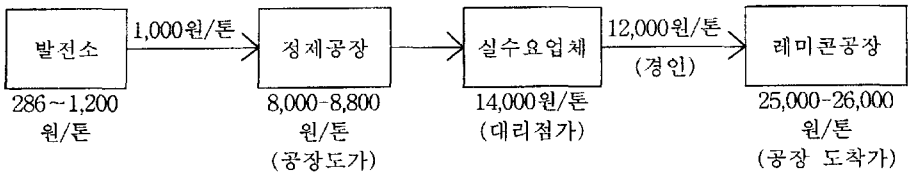


Fig. 5. 1999년도 우리 나라 中部地方 精製灰 流通 흐름도例(필자의 조사).

Table 8. FA 및 분말슬래그에 대한 사용상 장단점 비교

항 목	FLY ASH	분말슬래그
시멘트 치환율	10% 내외	30~60%
주요 품질특성	포졸란 반응	잠재수경성
품질산포	산포 大 사용탄종별, 발전소별 미연카본 및 분말도	산포 小
품질관리 용이성	품질관리 신중 필요	품질관리 용이
물류비	불리	유리
레미콘업체 선호도	中	高

나타낸 것이다. Fig. 7 은, 1991년 5월 자본금 8,000만 달러를 투자하여 China steel corp(C.S.C)의 그룹사로 발족한 China Hi-ment사의, 슬래그 미분말의 유통을 도시한 것이다. 대만에 있어서 슬래그 미분말산업을 종합하면 다음과 같이 설명할 수 있다.

① C.S.C. : 2,400千톤/년 생산, 슬래그 판매가 260NTD/톤(수분 10% 기준)
② 수입국 : 日本 1,400千톤/년, POSCO 123千톤/년, 수입가 8.00USD/톤(부두도착가)
③ 미분말 maker : 19개 공장, 미분말 生産量 3,800千톤/년, 4,000 blaine만 생산, 생산량의 99%가 Remicon에 사용

미분말 판매가(운임포함)
- S (Slag powder), 1,100 NTD/톤(세금, 수송비 미포함)
- S · F(Slag powder 80%+Fly ash 20%), 900~1,000 NTD/톤

운임, 高雄地域 100 NTD/톤, 台北 600 NTD/톤

④ Remicon공장 : 대만 全國 레미콘 生産量 50,000千m^3/년 Slag 미분말 混合比 30~50%(기초 土木공사 50%, 건축 30%, 평균 40%)
⑤ 슬래그시멘트 : 슬래그시멘트 생산량 80,000톤/년 (Hi-ment 50,000 + Union 30,000 두 개사뿐), 시멘트 생산량의 0.4%, 판매가 2,000 NTD/톤
高雄지역 판매가 비교(OPC 2,200 NTD/톤, 슬래그 미분말 1,100 NTD/톤)

◎ 슬래그시멘트 제조부진 이유
1) 物品稅
고로슬래그 미분말 : 없음
슬래그시멘트 : 280 NTD/톤
OPC : 320 NTD/톤
2) 정부의 시멘트 品目에 슬래그시멘트 없음

Table 9. 수쇄슬래그 미분말 수급현황

구 분	수요가	용 도	수요량 (천톤/년)	공급량 (천톤/년)		비 고
				국내(CSC)	수입(한국, 일본 등)	
Slag-Milling사	Hi-Ment사등 9개사	Slag Powder 생산	3,850 (생산능력의 77%)	2,400	1,450	Slag 미분말만 생산
Cemment사	Taiwan-Cement 사등 4개사	Slag Powder 생산	620	-	620	시멘트사 13사중 4개사만 Slag 미분말 및 OPC시멘트 병행생산
계	13개사	-	4,470	2,400	2,070	-

*대만 국내 RMC사등의 시멘트 수요량이 년간 2,500만톤으로 추정됨 → 대만 국내 시멘트사(13개사)의 시멘트 생산량('97년) : 21백만톤 → 대만 국내 Slag-Milling사(9개사)의 Slag Powder생산량('97년) : 4백만톤(시멘트 수요량의 부족분인 4백만톤을 Slag Powder로 충당함)
*슬래그 수입 사용실적('97년) : 일본(120만톤), 한국(12만톤)

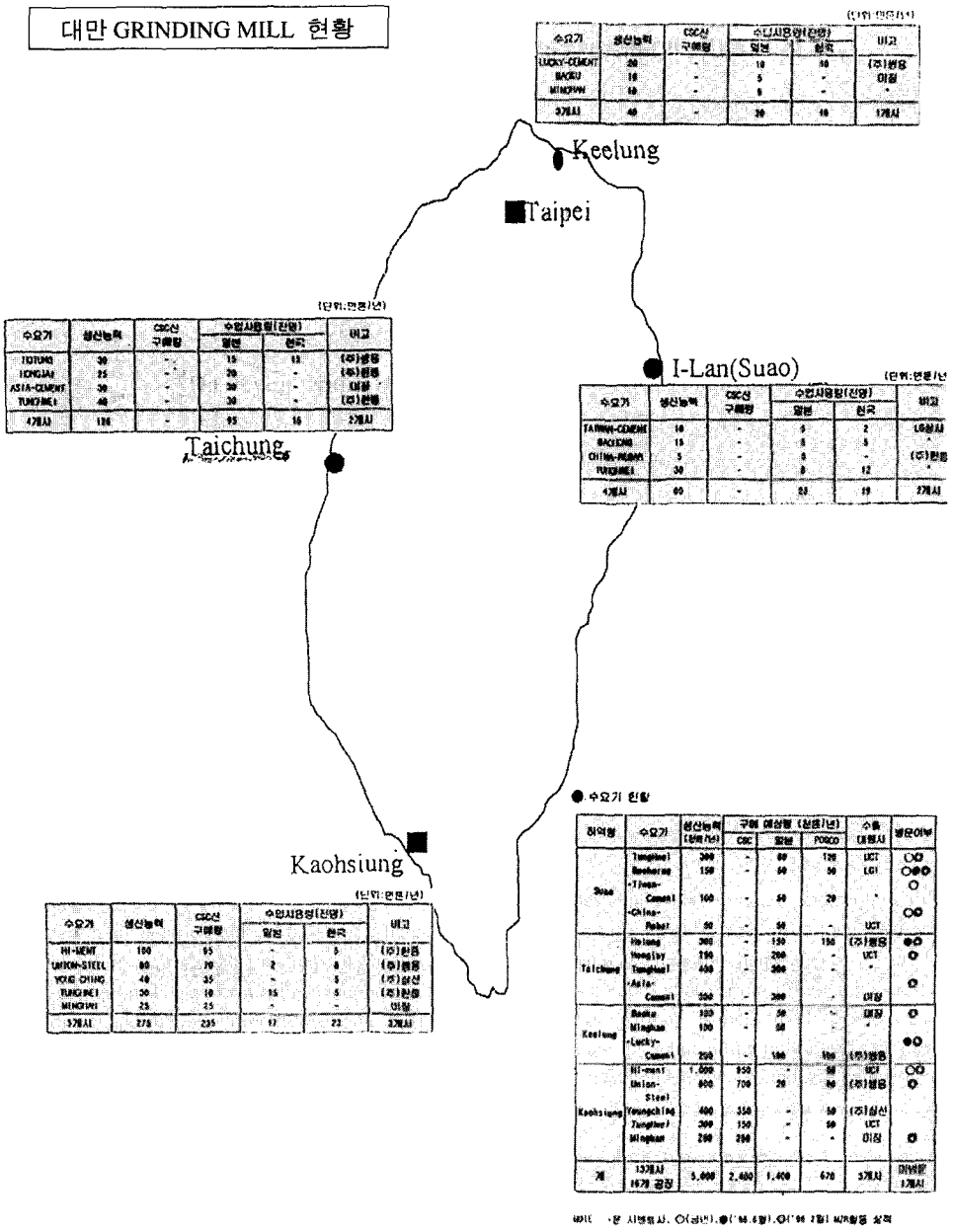


Fig. 6. 대만 수쇄슬래그 분말공장의 분포.

3) 시멘트 회사의 저항, 기피성

5.2. 東南亞의 高爐슬래그 미분말 이용현황

東南亞의 슬래그 미분말 수급현황은 Table 10과 같으며, 동남아 전반적인 현황을 다음과 같이 요약할 수 있다.

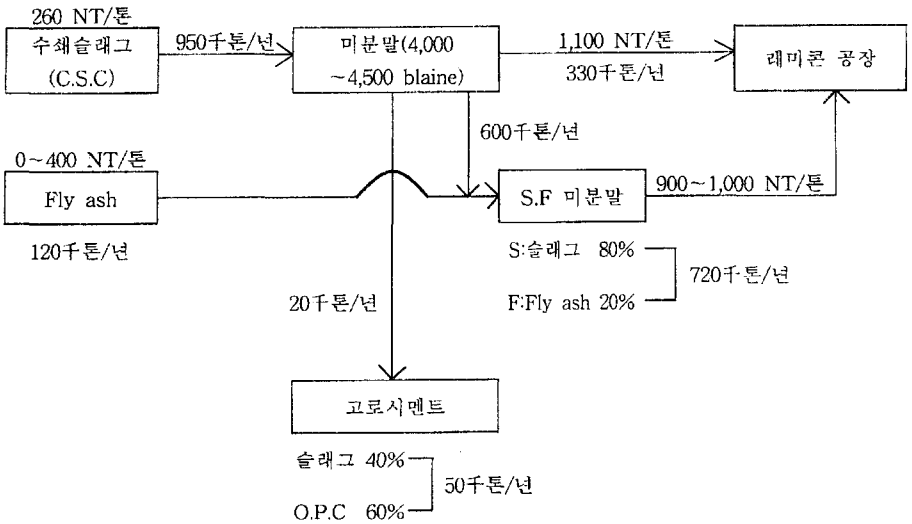
① 不景氣로 建設工事 不振, 시멘트 수요 激減

② 고로 수쇄슬래그 수요 잠재력은 큼

③ 日本 제철회사(N.K.K, 川崎제철 등) 슬래그 판매 활동이 적극적

④ Singapore : National Cement Co.,만 슬래그 微粉末을 수입하여 레미콘공장에 공급

⑤ Malaysia



• 판매가격은 레미콘공장 도착가격 유통비 : 高雄地域 일원 80~120 NT/톤, 高雄 → 台北 600 NT/톤
• 이윤추정 - 원료 250 NT/톤, 생산비(감가상각 포함) 400 NT/톤, 수송비 100 NT/톤 = 계 750 NT/톤 1,100-750=350 NT/톤, 년 순이윤 : 350元×950,000 톤×40원 =134.9억원/년

Fig. 7. China Hi-ment社의 슬래그 微粉末 및 Fly ash의 유통(필자 조사).

가. 슬래그 시멘트생산, 미분말 레미콘에 混和하고 있으나 小量임

나. 슬래그 미분말 레미콘에 混和시, 콘크리트의 早期强度를 높이는 방법의 개발을 요망하고 있음.

⑥ Indonesia

現在는 OPC 生産뿐이고, Slag cement 생산, 슬래그 미분말 레미콘 混和는 이제부터의 課題이다. 이러한 潛在力은 크다고 볼 수 있으며, 長期的인 판매개발 努力이 요구된다.

Photo 2 는 Malaysia의 고로슬래그 미분말공장이고 Photo 3 은 중국에서 수입하여 야적한 고로 수쇄슬래

Table 10. 東南亞 슬래그 미분말 수급현황

	Singapore	Malaysia	Indonesia
OPC생산량(萬톤)	300[1)]	1,439	2,750
OPC가격(USD/톤)	50	50	43
슬래그시멘트 생산량(萬톤)	200	50[2)]	-
슬래그 미분말 생산량(萬톤)	100	50[2)]	-
레미콘 혼화량(萬톤)	약간	10[2)]	-
미분말 판매가(USD/톤)	40	47[2)]	-

[1)]수입 clinker로부터 제조
[2)]Slag cement SDN. BHD West port의 자료

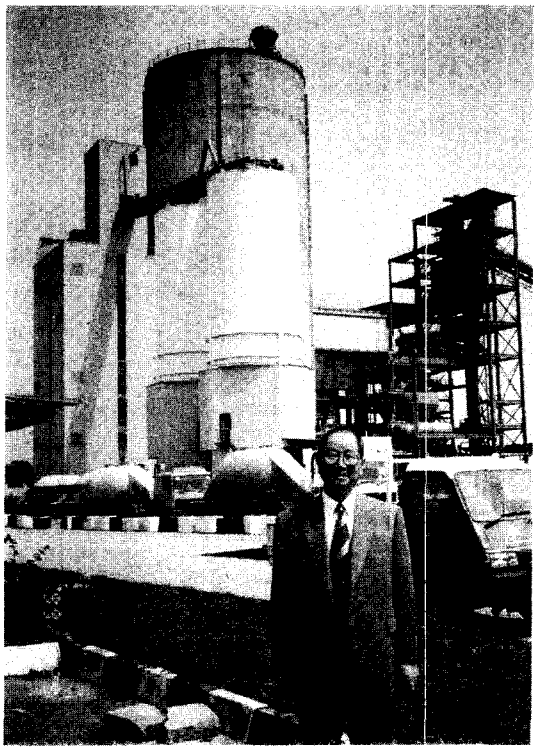


Photo 2. Malaysia의 고로슬래그 미분말공장-Slag Cement SDN. BHD Westport plant. Roller mill 60T/H.

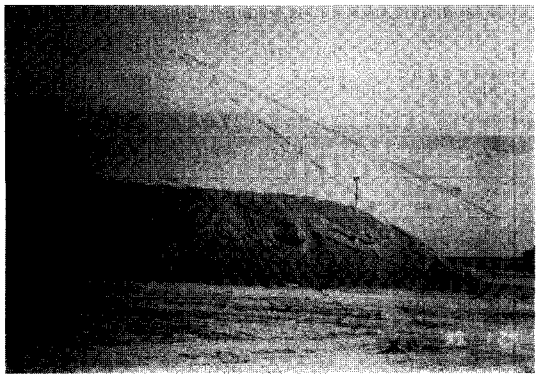


Photo 3. 중국에서 수입하여 야적한 고로 수쇄슬래그(Westport plant).

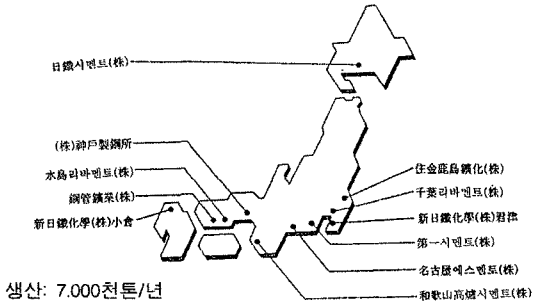


Fig. 8. 미분말공장의 분포.

그이다.

6. 日本에 있어서 슬래그 미분말의 이용

6.1. 개요

Table 11 은 공장별 미분말의 생산능력을 표시한 것이고, Fig. 8 은 미분말공장의 분포를 도시한 것이다.

工場別 生産能力은 1995年 10月 現在 6,250,000톤/年을 나타내고 있다. 슬래그시멘트에 있어서 슬래그 含量은 42%(B종)로 알려져 있다. 日本의 '95年度 고로슬래그 微粉末의 需要는 16,813,000(슬래그시멘트 生産量)×0.42=7,061,460톤으로 추산되고, '97年度는 16,096,000톤×0.42=6,760,320톤으로 산출된다.

Remicon 工場用 슬래그 微粉末 6,250,000톤×0.1=625,000톤/년 推算된다.

高爐슬래그 미분말의 생산량과 판매가격은 다음과 같으며,

生産品種 및	生産量	판매가격(現地도착 價)
4,000 blaine	750,000 톤/년	5,000 円/ton
6,000 blaine	50,000 톤/년	18,000 円/ton
8,000 blaine	2,000 톤/년	20,000 円/ton
10,000 blaine	500 톤/년	30,000 円/ton

가격에는 운임이 포함되고, 운임은 一般的인 경우

Table 11. 高爐슬래그 微粉末의 工場別生産能力(日本)

製造工場	主 製品 微粉末(cm^2/g)	生産能力 (萬t/年)	高爐水碎슬래그 主要供給製鐵所
日鐵시멘트(株)	4000, 6000, 8000	30	新日本製鐵(株) 室 蘭
新日鐵化學(株)君津	4000, 6000	60	新日本製鐵(株) 君 津
名古屋에스멘트(株)	4000, 6000	90	新日本製鐵(株) 名古屋
新日鐵化學(株)小倉	4000, 6000, 8000	100	新日本製鐵(株) 八 幡
第一시멘트(株)	4000, 6000, 8000	80	N K K 京浜
鋼管鑛業(株)	4000, 6000, 8000	36	N K K 福山
千葉리바멘트(株)	4000	34	川崎製鐵(株) 千葉
水島리바멘트(株)	4000	36	川崎製鐵(株) 水島
住金鹿島鑛化(株)	4000, 6000, 8000	37	住友金屬工業(株) 鹿 島
和歌山高爐시멘트(株)	4000	50	住友金屬工業(株) 和歌山
(株)神戶製鋼所	4000	72	(株)神戶製鋼所 加古川

(1995年 10月 現在)

1,000円/ton이고, 北海道의 경우는 1,500円/ton이다.

生産原價

N.K.K에서 수쇄슬래그 구입가	1,000 円/ton
제조 Cost	2,000 円/ton
운임	1,000 円/ton
수익(4,000 blaine의 경우)	1,000 円/ton
計	5,000 円/ton

6.2. (株)神戶製鋼所 加古川製鐵所의 슬래그 활용 동향

이 제철소는 슬래그 처리의 연구개발에 장구한 세월 동안 투자하였다. 가령 예를 들면 신꼬샌드(神鋼Sand) 개발에 10년간 기초연구를 거쳐 제품으로 생산을 개시하여 10년이 경과하였다. 遠山俊一 슬래그 室長은 新入社員때부터 20년간 슬래그 활용 연구에 종사하였다고 한다. 日本 鐵鋼슬래그協會의 資料(1996. 4~1997. 3.)에 의하면 加古川製鐵所의 粗鋼生産量은 4,722,943톤/년, 전로슬래그 生成量 593,600톤/년, 슬래그 生成原單位 126kg/ton, 그리고 슬래그 外販 216.645톤/년, 自家消費 34,113톤/년, 슬래그 利用計 360,758톤/년으로 61%의 再活用率을 나타내고 있다. 그러나 加古川製鐵所에서 入手한 資料(슬래그製品의 製造, 加工, 利用의 개설 1996)에 의하면, 後述한 바와 같이 轉爐슬래그의 97%가 利用되고 있다.

神戶製鋼所는 1998년 3월 10일, 鐵鋼슬래그 製品과 鐵鋼副生品의 판매, 기술개발, 기술서비스 등을 행하는 新會社 「神鋼슬래그 製品」을 설립, 4월 1일부터 營業을 개시하였다. 社長에는 山田晃稔氏가 就任, 자본금은 9,000萬円(神戶製鋼 100% 出資). 從業員은 20名으로, '98년도의 賣上高는 約40億円이 목표이다.

新會社 設立의 타겟은, 신규용도 개발을 포함한 리싸이클율의 향상, user needs에의 신속하고 적절한 對應, 슬래그 建材部에서 취급한 業務(철강슬래그 제품 판매, 철강 副生品 판매)를 인계받고, 더욱 새로운 산업폐기물 처리 처분 業務 代行, 土木建設 資材販賣, 土木建設工事에 수반되는 조사 · 시험 업무, 토목건설공사에 수반되는 設計 · 施工 工事에 關係되는 컨설턴트 업무를 行한다.

同社에서는, 年間 約 300萬톤의 鐵鋼슬래그가 發生하며, 이것을 利用해서, 시멘트用 원료의 K-ment(微粉末 슬래그), 모래代替品인 신꼬샌드(神鋼sand), 高爐슬래그·제강슬래그를 主된 配合材로 해서 複合路盤材등을 개발, 상품화 해왔다. 그리고 최근에는, 震災復·工事, 神戶市東部 新都心 開發에 있어서 道路·土木工事用材로서 슬래그의 수요가 높아짐에 따라, 安定供給源으로서의 役割을 맡아 왔다.

고로슬래그의 水碎化率은 87%로, 13%만이 徐冷슬래그로 시멘트 원료용(4%) 및 복합로반재배합용(9%)으로 활용된다. 한편, 수쇄슬래그는 시멘트 첨가용(원료)으로 다량활용(39%)하고 그 다음이 레미콘 混和材(K멘트用)로 활용된다. 이 제철소의 슬래그활용의 자랑인 신꼬샌드(神鋼sand)는 20,000~25,000톤/월 생산되며, 가격은 海砂(3,200円/톤)와 비슷한 3,100円/톤 이라고 한다. 제강슬래그는 蒸氣에이징을 거친 後 上層用 路盤材로서 57%활용되고, 시멘트 원료용과 土木工事用으로 각각 20%씩 활용되고 있다.

《슬래그 자원화 기술》

수쇄슬래그 세골재 제조; 硬質水碎기술적용-물의 분사각도, 물의 분사량 조절에 의해 냉각속도를 제어(기존수쇄 : 연질수쇄) 현재, 活用비율 10%에 불과하나 히로시마지역의 천연세골재 고갈에 의해 수요증대 예상

고로슬래그 미분말; 93년 가동을 시작한 미분말 제조설비에 의해 고로슬래그의 27%를 미분말化, 콘크리트 混和材로의 수요증대-고부가화 실현, 콘크리트의 고강도화에 효율적

「토목공사용」에는 주로 수쇄슬래그가 이용되고 있다. 1995년에 발생한 阪神淡路大震災에서 붕괴한 神戶港의 안벽복구에는 2년간 100만ton이 넘는 대량의 수요가 있었다. 이것은 수쇄슬래그가 「경량」이고 「內部摩擦角이 크기」 때문에, 設計震度의 향상이 도모되며 層當의 시공을 12m무게로 시공하는 등, 從來의 재료와 비교해서 시공성이 크게 개선되는 점이 평가되었기 때문이다. 최근, 자연환경에의 영향을 고려해서, 海砂를 비롯하여 天然材의 채취는, 규제되고 있고, 今後 제강슬래그를 비롯한 산업부산물의 이용이 크게 기대되고 있다.

6.3. 日本 및 臺灣의 수재슬래그 용도개발의 변천사

◎ 日本

1913년 슬래그시멘트 제조 개시(YAHATA 제철)

1925년 슬래그시멘트 日本標準規格(JIS 제29호) 제정

1975년 콘크리트 骨材로 용도개발

1976년 地盤改良材, 비료 등 용도개발

1981년 JIS A5012「콘크리트用 고로슬래그 세골재」

제정
1985년 콘크리트 混和材로 용도개발(레미콘用 미분말)
1986년 土工用材(裏材, 복토材, 路床改良材, 샌드·드레인材, 그라운드의 배수층 등) 용도개발
1990년 軟弱地盤의 固化材, 특수수중콘크리트用 混和材 용도개발
1995년 JIS A6206「콘크리트用 高爐슬래그 미분말」제정
1996년 고로 수쇄슬래그 超微粉末(1.0 μm정도) 제조 개시, 가격 40~50萬원

◎ 臺灣
1993년 高爐시멘트 및 고로수재슬래그 微粉末(레미콘용) 제조 개시

6.4. 日本 全國 生콘크리트工業組合連合會의 見解 (1998년)

日本 全國의 Remicon 工場數 4,900個

2年前 全國 生콘크리트組合 ┐
시멘트協會 ├
鐵鋼슬래그協會 ┘

Remicon 生産量 170,000千 m^3/年

高爐슬래그 微粉末 使用 콘크리트 製造매뉴얼-標準化를 向해서-作業, 品質保證이 主 目的인 guide book 出版(1998. 7.)

- 高爐슬래그 微粉末을 Remicon工場에 混和材로 現在 利用하고 있음을 認定하지 않음.
- 高爐슬래그 微粉末과 Fly Ash 利用條件은 비슷하고, 4~5年後 또는 10年後에 콘크리트 混和材로 利用이 可能하다는 見解를 갖고 있음.
- 高爐슬래그 微粉末의 利用과 關聯되는 規格
  - 슬래그시멘트(JIS R 5211), 1997. 4. 改正
  - 콘크리트用 高爐슬래그 微粉末(JIS A 6206) 1997. 8. 改正
  - 레미콘(JIS A 5308) 1998. 4. 改正

6.5. Guide book의 주요내용

◎ 고로슬래그 미분말 사용 콘크리트 제조 매뉴얼(표준화를 향해서)

日本에서는, 全國 生콘크리트공업조합연합회, (주)시멘트협회, 철강슬래그협회가 협력해서 1년여 실험을 실시하여, "고로슬래그 미분말 사용 콘크리트 제조 매뉴얼"을 발표하였다. 이 성과는, 이 매뉴얼에 준거하여, 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트 제조에 대처한다면, 충분한 콘크리트를 만들 수 있다는 것이, 생산자 측으로서 확인된 것이다.

이성과를 기본으로, 1997년 4월의 JIS A 5308(ready mixed concrete)의 개정에 있어서, 고로슬래그 미분말이 concrete용 혼화재료로서 규정하게 되었다.

이상의 경위로부터 레미콘업계 내에서 고로슬래그 미분말을 바르고 유효하게 이용하게끔 가이드북으로서 책자를 만들었다.

본고에서는 이 책자중

1. 총칙

2. 고로슬래그 미분말 사용 콘크리트의 배합 상 고려해야 할 특성

중에서 중요한 골자만을 발탁하여 소개한다.

1. 총 칙

1.1 적용범위

A. 본 매뉴얼은 JIS A 6206 (콘크리트용 고로슬래그 미분말의)의 고로슬래그 미분말 4000에 적합한 고로슬래그 미분말을 혼화재로서 사용하는 Ready mixed concrete를 제조하는 경우에 적용하다.

B. 고로슬래그 미분말의 치환율은 보통 포틀랜드시멘트의 30~70%를 표준으로 한다.

A. 본 매뉴얼에서는 일반적으로 유통, 사용되는 고로슬래그 미분말 4000을 사용하는 경우에만 한정한다.

B. 고로슬래그 미분말 4000은 일반적인 고로시멘트와 마찬가지로 ① 수화열에 의한 온도상승의 억제, ② 알카리실리카 반응의 억제, ③ 황산염 및 해수에 대한 화학저항성의 향상, ④ 염화물이온 및 산소의 침투에 대한 저항성이 우수하기 때문에, 해양분위기 등의 조건하에서 철근보호 효과 등이 기대된다. 그러나 슬래그 치환율이 30% 미만의 경우에는 고로슬래그 미분말을 사용한 효과가 현저하게 인정할 수 없어 슬래그 미분말을 사용함으로서 관리업무가 복잡화하기 때문에 사용하지 않는 것이 좋다. 그리고 치환율이 70%를 초과할 경우에는, 초기 강도가 현저하게 적어지며, 사용실적도 거의 없고, 그 물성이 충분히 확인되어 있지 않기 때문에 사용 안하는 것이 좋다.

2. 고로슬래그 미분말 사용 콘크리트의 배합상 고려해야 될 특성

2.1. 총 칙

A. 본장은 고로슬래그 미분말 사용 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다.

B. 고로슬래그 미분말은, 치환율에 의해 콘크리트의 특성에 미치는 영향이 다르기 때문에 사용목적에 따라 치환율을 선정한다.

A. 본장은, 고로슬래그 미분말 사용 콘크리트를 합리적·경제적으로 사용하고, 더욱 소요의 품질을 얻도록 배합설계를 하기 위해서, 이해해야 하는 특성을 말한 것이다.

B. 고로슬래그 미분말 사용 콘크리트에는, 無혼입 콘크리트와는 다른 여러 가지 특징이 있다. 고로슬래그 미분말 4000을 치환율 30%, 50% 및 70%에서 사용하는, 콘크리트는 각각 고로시멘트 A종, B종 및 C종을 사용한 콘크리트와 거의 같은 성질을 나타낸다.

고로슬래그 미분말을 혼화재로 사용 시에는, 그 목적에 따라 특성이 충분히 발휘되게끔, 고로슬래그 미분말의 치환율을 적절히 선정한 것이 중요하다. Tabe 1 에 사용목적에 따른 고로슬래그 미분말 4000의 바람직한 치환율을 나타낸다.

Table 1. 고로슬래그 미분말 4000 사용 시의 바람직한 치환율

사용목적	치환율
水和熱에 의한 온도상승의 억제	50~70%
알카리시리카 반응의 억제	40~70%
耐황산염성의 향상	50~70%
해수에 대한 화학 저항성(염해를 포함)의 향상	45~55%
고유동화	30~70%
고 강도화	-

주)O.P.C의 일부를 고로슬래그 미분말로 치환했을 때를 나타낸 것이다.

2.2. Fresh concrete의 성질

2.2.1. Workability

A. Workability는 분말도 및 치환율에 의해서 영향을 받는다.

B. 소요의 공기량을 얻는데 필요한 AE제의 사용량은 고로슬래그 미분말의 치환율이 클수록, 그리고 분말도가 클수록 크게된다.

2.2.2. Bleeding

A. Bleeding은, 분말도가 클수록 저감한다.

B. Bleeding은, 기온이 낮을 경우에는 증가한다.

2.2.3. 응결

A. 콘크리트의 응결은, 치환율이 클수록 지연된다.

B. 콘크리트의 응결은, 기온이 낮은 경우에는 더욱 지연된다.

2.2.4. 단열온도 상승 및 발열속도

A. 콘크리트의 단열온도 상승량은, 치환율을 60% 정도 이상으로 할 때에는, 상승량을 낮게 할 수 있다.

B. 발열속도는, 치환율이 클수록, 분말도가 적을수록 낮게된다.

2.3. 硬化콘크리트의 성질

2.3.1. 강도발현성

A. 초기강도는, 고로슬래그 미분말의 치환율이 클수록 적게된다.

B. 28일 강도는, 치환율이 50% 이하일 경우는, 무혼입 콘크리트와 동등한 강도발현성을 나타낸다.

C. 장기강도의 증진율은, 치환율이 클수록 크게 된다.

D. 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 온도영향을 받기 쉽고, 치환율이 클수록 그 경향이 강하고, 더욱 초기 材齡에서 현저하다.

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 표준양생강도의 발현성은, 치환율이 클수록 초기강도가 저하하지만, 28일 강도는 무혼입 콘크리트와 거의 동등하게 되고, 그 이후의 材齡에 있어서는, 치환율이 클수록 材齡과 더불어 크게된다. 그러나 무혼입 콘크리트에 비해서 양생온도가 강도발현성에 미치는 영향은, 치환율이 클수록 현저하게 되어, 특히 저온도 시의 강도발현성이 저하함으로 주의해서 사용할 필요가 있다.

A. 초기강도

材齡 3일 및 7일의 초기에 있어서의 강도발현성은, 고로슬래그 미분말의 치환율이 클수록 강도의 저하도 크다. 시판의 고로슬래그 미분말에는 석고를 첨가한 것과 첨가하지 않은 것이 있지만, 석고를 첨가한 것은 약간 초기강도가 개선된다.

B. 28일 강도

28일 강도는, 고로슬래그 미분말의 치환율이 50%이하에서 물결합재비가 50% 이상에서는 거의 무혼입 콘크리트와 동등하든지, 약간 상회하는 강도발현성을 나타낸다. 치환율이 70%의 경우는, 무혼입 콘크리트의

70~80% 정도이다.

C. 장기강도

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 材齡 28일을 초과하는 장기강도는, 일반적으로 무혼입 콘크리트에 비해서 크게 된다. 이와 같이 28일을 초과하는 강도관리 材齡을 채용하는 경우에는, 가령 材齡 56일 혹은 91일로 강도를 관리하면 경제적인 배합설계가 가능하게 된다.

D. 양생온도의 영향

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는, 콘크리트 제조온도 및 양생온도가 낮을 경우에는 치환율이 클수록 강도발현성이 현저하게 저하한다.

2.3.2. 압축강도 및 구조체 콘크리트의 강도(현장봉칸 양생의 강도)

고로슬래그 미분말을 사용하는 콘크리트는, 材齡 28일 이후의 장기 材齡 압축강도가 증대하는 경향이 있고, 材齡 28일이 동등하더라도 材齡91일에서 크게된다. 그 정도는, 고로슬래그 미분말의 치환율로도 상위하기 때문에, 材齡 28일을 표준으로 한다.

2.3.3. 정탄성계수

정탄성계수는, 압축강도와의 관계에 있어서 무혼입 콘크리트와 동등하다.

2.3.4. 건조수축

건조수축율은, 무혼입 콘크리트와 동등하다.

2.3.5. 크립(CREEP)

크립은, 무혼입 콘크리트에 비해서 적다.

2.3.6. 중성화

중성화 속도는, 材齡 28일 강도가 거의 동등할 때에는, 무혼입 콘크리트와 같던지, 약간 크다.

2.3.7. 耐凍害性

耐凍害性, 무혼입 콘크리트와 동등하다.

2.3.8. 水密性

水密性은, 치환율이 클수록 향상한다.

2.3.9. 염분차폐성

염분차폐성은, 고로슬래그 미분말의 치환율이 클수록, 분말도가 클수록 향상한다.

2.3.10. 耐海水性

耐海水性은, 고로슬래그 미분말의 사용에 의해 향상한다.

2.3.11. 알카리실리카 반응억제 효과

알카리실리카 반응의 억제효과는, 고로슬래그 미분말의 치환율이 클수록 크다.

2.3.12. 내마모성

내마모성은, 고로슬래그 미분말을 사용함으로서 약간 향상한다.

7. 맺는말

수쇄슬래그로 미분말을 제조하여 레미콘 혼화재로 이용케 한다는 것은 부가가치 향상뿐 아니라 지구환경 보존 측면에서도 매우 유익한 사업으로 확신된다.

본 조사 연구의 결과는 고로 수쇄슬래그 미분말 제조사업이 여러 가지 면에서 매우 유망한 사업이고, 레미콘 혼화재로의 활용은 국가적인 면에서도 공헌이 지대할 것임을 입증하고 있다.

한편, 고로 수쇄슬래그 미분말 제조사업을 활성화하고 안정화를 위해서는 아음과 같은 기반구축이 바람직하다.

① 제도적인 측면

레미콘 KS 규격(KS F4009)내, 혼화재에 고로슬래그 미분말 삽입

② 수요가(레미콘공장) 측면

가. 레미콘사에서 신뢰를 가지고 사용할 수 있도록 시험을 통한 과학적인 자료의 제공

나. 레미콘공장에 슬래그 미분말용 싸이로 건설지원

다. 고로슬래그 미분말 제조사업은 생산자, 공급자, 사용자 및 FLY ASH 관계자가 사업계획의 초기 단계부터 공동 참여가 바람직하다.

부 기

본 연구조사에 있어서 POSCO의 여러 가지 많은 지원을 받았습니다. 臺灣에 있어서는 蔡敏行 國立成功大學 敎授, SINGAPORE와 MALAYSIA에 있어서는 쌍용의 權大赫씨와 崔瑄吉씨, INDONESIA에 있어서는 KODECO 金文換 상무이사의 현지안내를 받았습니다. 우리 나라와 日本에 있어서도 많은 분들의 조언과 안내를 받았습니다. 두루 심심한 사의를 표합니다.

吳 在 賢

- 와세다대학 공학석사, 박사
- 인하대, 연세대 교수
- (사) 한국자원리싸이클링학회장
- 현재 연세대학교 명예교수
- (사)한국자원리싸이클링학회 명예회장
- 본 학회지 제10권 5호 참조

安 芝 煥

- 인하대학교 자원공학과 석사
- 연세대학교 경제학 석사
- 인하대학교 자원공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용연구부
- 본 학회지 제10권 4호 참조