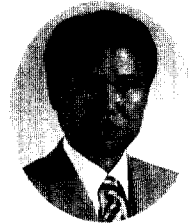


산업부산물 및 폐기물을 이용한 콘크리트용 골재

콘크리트용 골재로서 광산폐석의 활용

The Use of Mine-Wastes as the Aggregates of Concrete



류현기*

1. 서 론

최근 신도시 건설 등 대규모 건설공사에는 다량의 콘크리트가 사용되어져 양호한 천연골재 자원이 점차 고갈됨에 따라 레미콘과 같은 콘크리트 산업에서는 이 문제를 시급히 해결해야 할 당면과제로 취급하고 있다.

이러한 천연골재 자원의 고갈현상을 해소하기 위한 대책으로는 천연산인 저품질 강골재, 육지골재, 산골재, 바다골재를 채가름이나 세척 등 가공으로 양호한 품질이 될 수 있도록 조제하여 활용하는 방안과, 암석을 분쇄하여 채석골재로 활용하는 방안 및 건설폐기물과 산업부산물등 폐기물 자원을 적절히 가공하여 재활용(Recycling)하는 방안 등이 있다.

그러나, 이와 같은 천연골재 자원의 고갈대책에 관한 여러가지 방안 중 어느 경우보다도 환경오염을 방지하고, 가격이 저렴하며, 품질면에서도 문제시되지

않는 일석이조 이상의 효과를 거둘 수 있는 방법으로 는 폐기물 자원을 재활용하는 방법인데, 특히 이 중 채광 과정에서 발생하는 광산의 폐석을 골재로 활용하는 방법이 각광을 받고 있다. 즉, 산업부산물 혹은 폐기물의 일종인 광산폐석은 금속광산 및 비금속광산을 막론하고 굴진과정과 선광과정에서 불순물의 함유 및 순도가 목표수준보다 저하할 경우에는 폐석으로 분류되는데, 채광광물의 종류 및 규모에 따라서는 1일에도 수십내지 수백톤씩 발생하므로 매립장의 확보에 따른 토지보상문제, 인근지역의 공해문제 등 광산운영자 입장에서는 매우 고심하는 사항이 되고 있다. 그런데 이와같이 처리에 고심하는 광산폐석중에는 경우에 따라 분쇄, 채가름 등 적당히 가공만 하면 품질면에서 콘크리트용 골재로 전혀 손색이 없이 이용할 수 있음에도 불구하고, 이 부분에 대한 자료 조사 및 연구는 아직까지 매우 미흡한 실정이다.

그러므로 본 고에서는 광산폐석을 콘크리트용 골

* 성회원, 충주산업대 부교수

재에 효율적인 활용하기 위하여 광산현황, 폐석발생량 및 광산폐석의 골재화 방안을 특히, 충북지역 광산의 예로 제시하므로써 고갈골재 자원 대책에 한 참고자료로 활용토록 한다.

표 1 광구현황

구 분	등록광구	가동광구	미가동광구	가동율
전 국	12,036	2,984	9,052	24.8%
충 북	1,495	313	1,182	20.9%
대 비	12.4%	10.5%	13.1%	84.3%

표 2 광물매장량

구 분	단 위	전 국	충 북	비율(%)
금	k.g	146,388	23,328	15.9
은	"	3,077,400	136,400	4.4
철	천H/T	175,120	5,309	3.0
석회석	"	43,290,936	5,323,716	12.2
규석	"	1,912,180	177,598	9.2
황석	"	43,942	13,724	3.2
형석	"	2,013	933	46.3
규회석	"	16,536	16,342	98.8
장석	"	32,744	667	2.0
식탄	"	1,584,850	103,580	6.5

2. 광산의 현황

1992년도말 현재 전국 및 충북의 광산현황은 표 1과 같다. 즉, 전국의 등록된 광구수는 12,036개로서 전국 및 충북의 경우 20~25%의 저조한 가동율을 보이고 있다. 또한 각 광물의 종류 및 매장량은 표 2

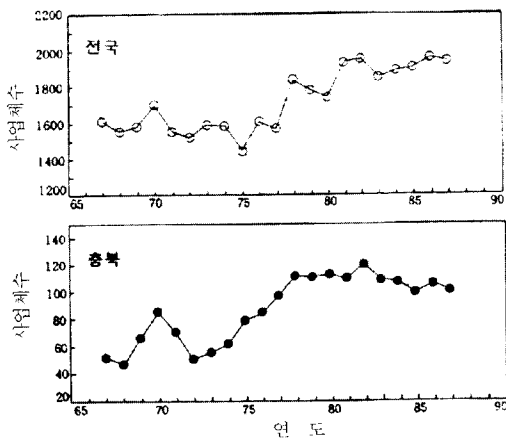


그림 1 사업체수의 변동추이

와 같은데, 제일 많은 매장량은 석회석 광산이 차지하고 있다.

또한 한국통계연감을 기초 자료로 광산 사업체수의 변동 추이는 1967년부터 1987년까지 21년간의 변화를 전국과 충북의 경우로 구분하여 그림 1과 같이 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다. 전반적인 경향으로 전국과 충북의 경우 사업체수는 계속 증가하고 있음을 알 수 있고, 평균적으로 볼 때 전국에 비교하여 충북 광산은 약 5% 정도를 차지하고 있음을 알 수 있다.

충북도내의 광산 현황을 1967년부터 1990년도까지 광구수에 대한 현황을 충북 통계년보를 참고자료로 하여 조사한 결과는 그림 2와 같은데, 연도별 추이는 1967년부터 1976년까지 전체 광구수에 대한 가동중인 광구수가 40% 내외의 다소 양호한 현상을 나타낸 반면에 77년도 이후부터는 가동 광구수가 급격히 저하하여 1989년말 현재로는 20% 이내로 매우 저조한 운영실태를 나타내고 있다.

광종별 광산의 구성과 운영현황은 그림 3과 같다. 즉, 생산 광물은 20여종, 광산수는 100개이고, 광종별로 구분하면 금속 광산 16개(16%), 비금속 광산 84개(84%)이며, 금속광산은 금·은광산과 기타이고, 비금속 광산은 석회석, 규석, 무연탄, 기타로 분류할 수 있다.

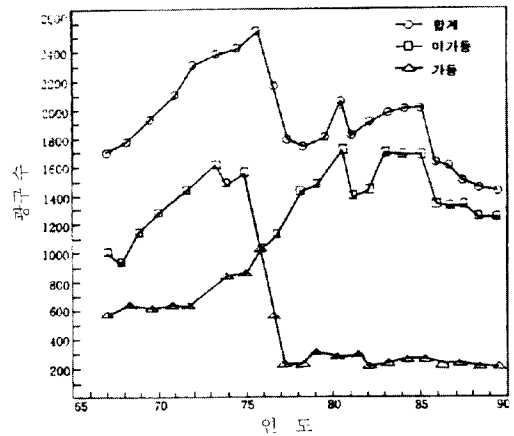


그림 2 충북의 광구수 변동추이

1) 금속광산

(1) 금·은

금·은 광산은 총 19개 금속 광산중 10개소로

62.5%를 차지하고 있으며, 현재에는 이중 4개 광산을 제외한 6개 광산이 가동(가동율 60%)되고 있다.

(2) 기타

금속광산중 기타광산은 동, 아연, 텅스텐, 철, 몰리브덴으로 6개가 있으나 현재 가동중인 광산은 없다.

2) 비금속광산

(1) 석회석

비금속 광산중 석회석은 가장 폭넓은 분포를 보이고 있는데, 광산수 또한 비금속광산 84개중 38개로 45%정도를 차지하고 있다. 현재에는 5개 광산을 제외한 33개 광산이 가동(가동율 87%)중에 있다.

(2) 무연탄

무연탄은 20개소로서 비금속광산의 23.8%를 차지하고 있고, 현재는 절반인 10개 광산만이 가동(가동율 50%)되고 있다.

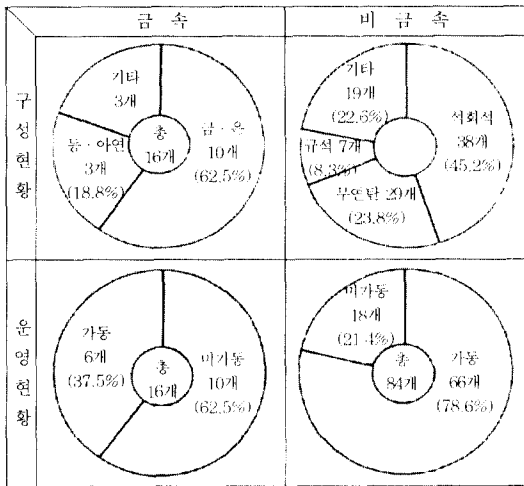


그림 3 광산의 구성과 운영 현황

(3) 규석

규석은 총 7개소로 비금속광산의 8.3%를 차지하고 있으며, 현재는 3개소를 제외한 4개 광산이 가동(가동율 57%)되고 있다.

(4) 기타

비금속광산중 기타 광산이 19개소로 22.7%를 차지하고 있는데 세부적으로는 백운석과 대리석이 각각 4개소, 활석·납석·운모·고령토가 각각 2개소, 장석·방해석·점토가 각 1개소씩 있다. 비금속광산의 기타 광산은 금속광산의 기타 광산과는 반대로

100% 가동되고 있다.

3. 광산폐석의 발생량

표 3은 충북도내 조사대상 광산 100개중 광산의 폐석을 콘크리트용 골재로 이용할 수 없다고 보여지는 고령토, 사금, 점토 광산과 이미 골재화 되고 있는 쇄석·화감암 광산 및 가동되고 있지 않는 광산을 제외하면 68개 광산으로서 이 광산에 대한 광종별 1일 폐석발생량을 나타낸 것이다.

먼저 금속광산은 금, 은 광산과 기타광산(동, 아연, 텅스텐, 철, 몰리브덴)의 폐석으로 분류하였는데 금, 은광산에서만 가동되어 폐석이 발생되고 기타금속광산의 경우는 매장량이 매우 적고 함량미달로 인하여 경제성이 없어 채광이 중지된 상태 이므로 폐석량이 없는것으로 파악되었다.

비금속 광산은 석회석, 무연탄, 규석광산과 기타광산(활석, 운모, 납석, 고령토, 장석, 방해석, 점토)으로 분류하였는데, 석회석 광산에서 약 93%정도 차지하여 거의 대부분의 광산폐석량을 차지하고 있다. 무연탄은 약 2%정도, 규석은 0.6%정도 차지하고 기타 광산폐석은 1.4%정도로 아주 적은 양으로 파악되었다.

따라서 전체 광산의 1일 평균 폐석발생량은 14,134t으로 막대한 양임을 알 수 있고, 광종별로는 비금속 광산이 전체폐석의 96.3%로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 금속 광산이 약 3.7%를 차지하고 있는데, 이는 대부분의 사업체가 비금속 광산에 집중되고 있음에 기인된 결과로 보여진다.

표 3 1일 평균폐석발생량

구분	금속광산		비금속광산			
	금·은	기타	석회석	무연탄	규석	기타
1일평균 폐석 발생량(t)	524.0 (3.7)	0 (0)	13,053.4 (92.36)	277.5 (1.96)	82.0 (0.58)	196.9 (1.4)
소계(t)	524.0 (3.7)		13,609.8			
총계(t)			14,133.8(100)			

()안의 값은 총계에 대한 백분율임

4. 광산폐석의 골재화

광산에서 발생된 폐석은 크기가 전반적으로 크기 때문에 콘크리트용 골재로서의 사용은 불가능하므로

조 크랏서, 콘 크랏서, 임팩트 크랏서, 볼밀 등 몇 단계의 분쇄과정을 거친 다음 체가를 선별로 이루어지게 된다.

쇄석골재 생산과정에 있어서 골재의 입도 및 입형 등 입자특성은 모암의 화학성분, 결정구조 등에 따라 달라질 수 있는데, 본 장에서는 광산폐석을 콘크리트용 골재로 이용할 경우에 골재로서의 특성 및 콘크리트에 활용할 경우에 미치는 영향에 대하여 간단히 제시하고자 한다.

4.1 금속광산

(1) 금, 은 광산

광산폐석의 파쇄 과정에서 발생하는 입자의 크기는 석질의 견경도와 결정조직에 따라 다소 차이는 있으나 파쇄시 각이지고 모가 난 형상이 많은 관계로 입형개량이 필요한 실정이다. 또한 콘크리트용 골재로서의 사용 가능성 여부를 판별하기 위하여는 골재 자체의 고유한 성질 즉, 인위적으로 개량이 불가능한 비중, 흡수율, 안정성, 마모성, 알칼리골재반응성 등에 대한 KS규격의 해당 규정치를 만족시켜야 하나 금광폐석은 양호하나 광폐석은 결정조직이 조대하여 흡수율이 커서 규정치를 상회하는 것으로 나타났나, 심도있는 검토가 요구 되었다. 따라서 콘크리트에 이용하는 면에서는, 금광의 폐석만이 활용시 특별한 문제점 없이 가능한 것으로 나타났다.

(2) 기타 광산

기타의 금속광산으로는 구리, 납석, 철광석, 물리브덴, 텅스텐등의 폐석이 있는데, 운영이 중단된 상태이지만 철광석과 구리, 텅스텐의 광산폐석에서는 골재자체의 고유성질에 해당하는 규정치를 만족시키는 결과로 나타났고, 콘크리트에 적용 실험한 결과도 콘크리트용 골재로서의 활용 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 단, 텅스텐 폐석에서는 과량의 알칼리인 조건에서는 반응 가능성이 있는 것으로 나타났으며, 콘크리트용 골재로서의 적용 실험결과에서도 석질이 견경치 못하여 강도 발현이 약간 저조한 경향으로 나타나 사용에 신중을 기하여야 할 것으로 판단되었다.

4.2 비금속 광산

(1) 석회석

석회석광산은 충북의 지질분포상 대석회암군으로

형성된 부분이 많아 양질의 석회암층의 형성으로 광산의 가동율이 87%정도로 나타났고, 폐석의 발생량도 전체발생량의 약 93%정도로써 거의 대부분이 석회석 광산폐석으로 나타났다.

석회석 폐석은 시멘트의 주재료인 석회석 채굴과정에서의 폐석이므로 파쇄시 발생하는 잔골재는 모가 나고 각이지게 되므로 입형개량에 유의하여야 한다.

또한 굵은 골재의 경우도 입도 분포 경향은 파쇄시 거의 표준입도 범위에 들어가거나 혹은 접근하고 있으나, 형상은 원판상으로 나타나 형상계수의 값이 다소 크게 나타남에 또한, 입형개량에 유의 하여야 한다.

단, 석회석 폐석의 경우 골재고유의 성질은 KS의 해당규정을 만족하여 이상이 없는 것으로 나타났고 또한, 콘크리트에 적용한 결과는, 사용상 특별한 문제가 없는 것으로 나타났다.

(2) 무연탄

무연탄의 광산폐석은 광물의 결정조직 및 견경도 등에서 다소 약하여 비중이 KS규정 2.5에 미달되고 점도량 시험 및 NO.200체를 통과량 시험등에 의하여 사용이 불가능한 것으로 나타났고, 또한 과량의 알칼리인 조건에서는 반응성이 나타남과 강도발현에도 다소 문제가 있는것으로 나타났다.

(3) 규석

규석의 폐석은 광물조직의 결정형태 및 견경도 등에서 연한 석질로 구성되어 있음에 따라 비중에서 규정치에 미달되고, 마모시에 마모감량이 규정치를 상회하며 강도발현도 저조하여 콘크리트용 골재로서의 사용이 불가능한 것으로 나타났다.

(4) 기타

기타의 광산폐석으로 백운석과 활석의 경우는 석질이 연하여 마모율이 크게 나타났고, 강도발현에도 상당히 저하하는 경향으로 나타나 콘크리트용 골재로서의 사용이 곤란한 것으로 나타났다.

4.3 종합분석

광산폐석의 콘크리트용 골재로서 활용가능성 여부의 판단은 골재자체의 고유한 성질 즉, 개량이나 변화시킬수 없는 비중, 흡수율, 마모, 안정성, 알칼리잠재 반응성등의 품질평가 사항에서 규정치를 만족시키지 못하는 폐석은 콘크리트의 시험에서 만족한 결과로 나타났어도 사용이 불가능한 것으로 판단하

고, 골재자체의 고유성질을 만족할지라도 콘크리트의 적용실험에서 만족시키지 못하면 사용이 불가능한 것으로 판단하여 충북지역 광산폐석의 활용가능 골재량을 분석하여 보았다.

그 결과 콘크리트용 골재로서 사용가능한 광산폐석의 1일 산출량은 10,902.4t 정도로 잔골재 발생량이 4.331t, 굵은골재 발생량이 6571.4t으로 분석되었는데, 잔골재를 제외하고 굵은골재만의 연간 재활용이 가능한 양을 산출하면 1,971,420t으로 나타나 충북지역 레미콘의 1993년도 소비량 약 4,156,875t과 비교하여 볼 때 47%정도를 충당할 수 있는 것으로 나타나, 전국의 광산폐석량에서도 약 40% 정도를 재활용 할수 있을 것으로 판단되는데, 이는 레미콘 및 콘크리트산업체와의 운반거리 및 광산폐석량의 경제적인 요건등을 분석한 후 종합검토 되어야 할 것으로 사료된다.

5. 결론

산업의 발달에 따른 부존자원의 고갈현상은 날로 심화되어가고 있는데 레미콘산업등 콘크리트산업에 있어서도 천연자원의 가격상승, 저품질화 및 품귀현상등이 날로 심화됨에 따라 그대체가 시급이 요구되는 실정이다. 또한 시멘트공장이나 철 및 석탄산업등 광공업의 경우는 광물의 채광과정중 발생된 폐기물의 효율적인 처리에 고심하고 있다. 따라서 본 고에서는 전국의 광산폐석에 대한 활용 가능량을 판단하기 위하여 충북지역에 대한 광산을 일례로 하여 광산폐석의 발생량을 조사한 다음, 콘크리트용 골재화 가능성 실험을 통하여 활용가능량을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 급속광산의 폐석에서는 조암광물의 결정조직이 치밀하고 견경하여 입형이 각이지고 모가 많이져 있는 관계로 입형 개량에 세심한 주의가 요구되었다. 골재고유의 성능평가에서는 은광폐석경우는 흡수율이 규정치를 상회하고 텅스텐의 폐석과 함께 알칼리첨가량이 많을 경우 알칼리골재반응 가능성이 있는 것으로 나타나 골재로서 사용이 어려운 것으로 나타났다. 따라서 금, 철광석, 구리광산의 폐석만이 콘크리트용 골재로서 사용 가능한 것으로 판단되었다.

2) 비급속광산의 폐석중 석회석은 충북전체 광산

폐석 발생량의 거의 대부분을 차지하는데 콘크리트용 골재로 사용하기 위하여 입형개량에 주의가 요할 뿐, 골재고유의 성질등에 있어서도 해당 규정치를 만족하고 콘크리트에 적용 실험한 결과 양호한 강도발현 특성을 나타내어 콘크리트용 골재로서의 적극활용이 가능할 것으로 분석되었다. 단, 무연탄의 폐석은 광물의 결정조직이 연약하고 점토량 및 No.200체 통과량등이 규정치를 벗어나며, 암석의 화학성분 분석결과 석영분의 다량함유로 알칼리골재 반응가능성 있는 것으로 나타나 콘크리트용 골재로서 사용이 불가능한 것으로 나타났고, 또한 규석과 백운석, 활석의 광산폐석에서도 석질이 연하여 골재로써의 사용이 곤란한 것으로 나타났다.

3) 종합적으로 본 고에서는 광산폐석을 콘크리트용 골재화 할 경우 가능량을 충북의 광산폐석 발생량과 견주어 볼때 레미콘용 골재의 약47%정도를 충당할수 있을 것으로 판단되므로 거리, 경제성등 별도의 척도는 무시하고 전국의 레미콘에 사용되는 콘크리트용 굵은골재량과 견주어 볼때 약 40% 정도는 광산폐석만으로도 재활용이 가능할것으로 판단되었다.

참고 문헌

- 1) 柳顯紀 : 콘크리트용 骨材로서 鑛山廢石의 活用に 관한 研究, 淸州大學校 博士論文, 1996.
- 2) 金在穩, 韓千求, 金武漢 : 콘크리트用 代替骨材 活用に 있어 VE 技法適用에 관한 研究(Ⅰ), 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.9, No.1, 1989, P.388
- 3) 韓千求, 柳顯紀, 鄭相國, 尹起源 : 鑛山廢石을 骨材로 活用하는 콘크리트의 特性에 관한 實驗的 研究(Ⅰ)-力學的 特性- 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.10, No.2, 1990, pp.569~572.
- 4) 韓千求, 柳顯紀, 鄭相國, 尹起源 : 鑛山廢石을 骨材로 活用하는 콘크리트의 特性에 관한 實驗的 研究(Ⅱ)-슈미트 햄머 및 초음파법 비파괴 시험- 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.11, No.1, 1991, pp.521~524.
- 5) 韓千求, 柳顯紀, 尹起源 : 鑛山廢石의 콘크리트용 骨材化에 관한 研究(Ⅰ)-實態調査- 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.11, No.2, 1991, pp.569~572.
- 6) 金武漢, 韓千求, 柳顯紀, 羅基挺, 尹起源 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅱ)(제1보: 조크랏서 方法의 骨材生産에 따른 粒度 및 粒形變化), 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.13, No.2, 1993.

- pp.587~590.
- 7) 金武漢, 韓千求, 柳顯紀, 羅基挺, 尹起源 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅱ)(제2보: 磨耗方法의 骨材生産에 따른 粒度 및 粒形變化), 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.13, No.2, 1993, pp.591~594.
 - 8) 金武漢, 韓千求, 柳顯紀, 尹起源 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅱ)(제3보: 骨材로써의 物理的 性質), 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.14, No.1, 1994, pp.567~570.
 - 9) 金武漢, 韓千求, 柳顯紀, 申寬植, 尹起源 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅱ)(제4보: 모르타르 鑛石에 의한 알칼리 骨材 반응 가능성), 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.10, No.2, 1994, pp.627~630.
 - 10) 金武漢, 韓千求, 柳顯紀, 尹起源, 崔靑閣 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅲ)(제1보: 시멘트 모르타르의 特性), 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.14, No.2, 1994, pp.619~622.
 - 11) 金武漢, 韓千求, 柳顯紀, 尹起源, 崔靑閣 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅲ)(제2보: 콘크리트의 特性), 大韓建築學會 學術發表 論文集, Vol.14, No.2, 1994, pp.623~626.
 - 12) 韓千求, 金武漢, 柳顯紀, 尹起源 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅰ)(제1보: 鑛山廢石의 콘크리트용 骨材로써의 特性), 한국 콘크리트학회, Vol.6, 1994, pp.197~202.
 - 13) 金武漢, 韓千求, 柳顯紀, 尹起源, 崔靑閣 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅱ)(모르타르 및 콘크리트 適用實驗을 中心으로), 한국 콘크리트학회, Vol.6, 1994, pp.111~114.
 - 14) 韓千求, 柳顯紀, 尹起源 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究 -鑛山廢石의 發生量 및 콘크리트用 骨材로써의 特性-, 1994년도 韓·日 국제 공동심포지엄 論文集, 1994, pp.171~176.
 - 15) 韓千求, 柳顯紀, 尹起源 : 忠北地域 鑛山廢石의 콘크리트用 骨材化에 관한 研究(Ⅰ) 大韓建築學會 論文集, Vol.10, No.12, 1994, pp.237~244.
 - 16) 韓千求, 柳顯紀 : 鑛山廢石 骨材의 알칼리 骨材反應性에 관한 研究, 大韓建築學會 論文集, Vol.11, No.9, 1995, pp.251~256.
 - 17) 韓千求 : 시멘트 및 骨材의 品質이 콘크리트의 強度에 미치는 影響, 忠北地方工業試驗所 産·學·研 技術세미나, 1984, P.42
 - 18) 工業振興廳 : KS F 2527 (콘크리트用 부순돌), 韓國工業標準協會, 1988, PP.1~2
 - 19) 工業振興廳 : KS F 2558 (콘크리트用 부순모래), 韓國工業標準協會, 1988, PP.1~4
 - 20) 忠清北道 教育委員會 : 忠北의 自然(地質·鑛物資源 硯), 1986, PP.11~18
 - 21) 經濟企劃院 : 韓國統計年監, Vol.24~36, 1967~1989
 - 22) 忠清北道 : 忠北經濟資料, 1992, PP. 104~107
 - 23) A. M. Neville : Hardened concrete physical and Mechanical Aspect, ACI Monography, No.6, 1977
 - 24) A. M. Neville : Properties of Concrete, 3rd Edition, Pitman 1981, pp.170~198
 - 25) Mc Intosh : The Use in mass concrete aggregate of large Maximum size, Civil Engineering, 52, No.615, 1957, pp.1011~1015