

# 폐콘크리트의 도로포장 골재로서의 적용사례 연구(1)

## 1. 건설 구조물상에 골재역할

### 1.1 자연골재

#### 1.1.1 정의

자연골재란 시멘트와 결합하여 시멘트 모르타 혹은 콘크리트를 구성하는 광물질의 재료이다. 콘크리트 체적의 70%이상을 차지하고 있기 때문에 콘크리트나 시멘트모르타의 강도, 내구성, 시공성, 부착성 등에 미치는 물리적, 화학적 역할이 매우 크다. (그림 1 참조) 자연골재의 분류는 (표 1)과 같다.

#### 1.1.2 품질

##### 1) 조건

골재는 콘크리트 시멘트 모르타의 성질에 큰 영향을 주고 있기 때문에 우수한 콘크리트나 시멘트 모르타를 제조하기 위해서는 아래와 같은 조건이 필요하다.

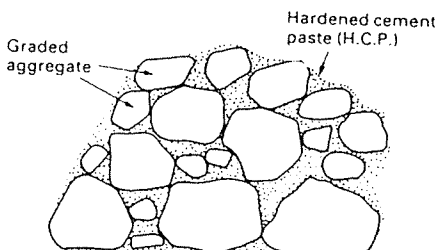


임남웅 교수  
중앙대학교 건설대학원 환경공학과

- 호주 NSW 주립대 공대 토목환경 박사
- 호주 NSW 주립대 공대 토목과 조교수
- 국회 환경포럼 자문위원

- ① 콘크리트 강도를 확보하는 경고성을 소유하는 것.
- ② 콘크리트의 비중에 만족하는 비중인 것.
- ③ 기상조건에 대해 내구성이 있는 것.
- ④ 유동성이 좋고 밀실한 콘크리트를 만들 수 있는 입형과 입도일 것.
- ⑤ 유해물질을 포함하지 않은 것.
- ⑥ 내화적인 것.

(그림 1) 콘크리트 결합구조



(표 1) 골재분류

분류방법	골재의 종류
생산방식	천연골재, 인공골재, 재생골재
채취장소	강자갈(모래), 육지자갈(모래), 산자갈(모래), 바닷자갈(모래), 화산암
치수	조골재, 세골재(최대치수 5mm골재, 최소치수 2mm골재)
비중	중량골재, 보통골재, 경량골재, 초경량골재
용도	구조용골재, 비구조용골재, 사용목적(콘크리트용 골재, 도로용골재)

## 2) 비중과 흡수율 관계

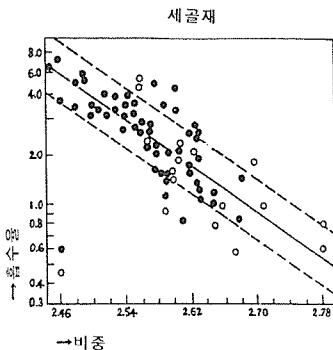
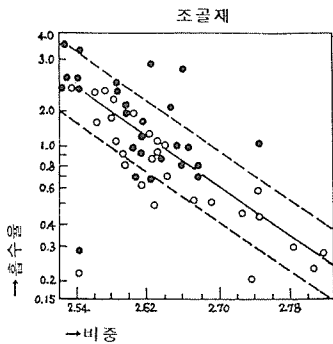
각종 세 · 조골재의 비중과 흡수율의 대략의 값을 나타내면 (표 2)와 같다. 보통골재를 사용한 콘크리트의 비중은 2.3 정도이다.

(표 2) 각종 골재의 비중과 흡수율

골재의 종류	비중(절건)		흡수율 (%)	
	세골재	조골재	세골재	조골재
강모래(자갈)	2.5 - 2.6	2.5 - 2.6	1 - 3	0.5 - 1
산 모래	2.3 - 2.6	-	2 - 4	-
해 사	2.4 - 2.5	-	1 - 3	-
쇄사, 쇄석	2.5 - 2.6	2.5 - 2.7	1 - 3	0.5 - 2
화 산 암 I	2.1 - 2.2	1.6 - 1.9	7 - 15	15 - 25
화 산 암 II	1.6 - 1.8	0.9 - 1.1	15 - 30	35 - 50
인공경량골재	1.6 - 1.8	1.2 - 1.3	8 - 12	6 - 10
고로슬래그골재	2.4 - 2.7	2.3 - 2.6	1 - 3	2 - 5

골재의 비중과 흡수율은 서로 상관관계가 있다.(그림 2) 흡수율이 높은 골재를 사용한 콘크리트는 일반적으로 강도와 탄성계수가 저하하고, 건조수축이 증대하여, 중성화와 동결융해에 대한 내구성이 저하되는 등의 경향을 보여준다.

(그림 2) 비중과 흡수율의 관계



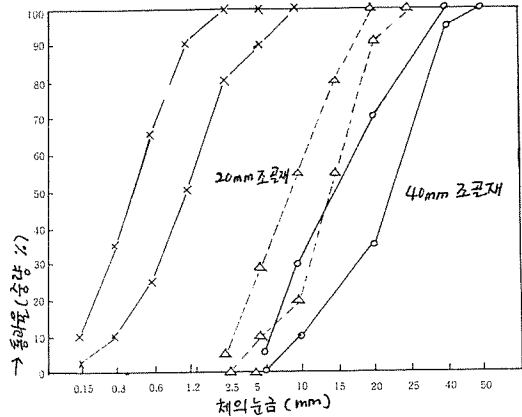
## 3) 입도분포

골재의 입도분포는 골재의 체가름 시험방법에 의해 조사한다. 시험에 이용하는 체의 크기는 아래와 같이 규정되어 있다.(그림 3 참조)

세골재 : 0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.5, 5, 10mm

조골재 : 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 80, 100mm

(그림 3) 그림 골재의 입도곡선

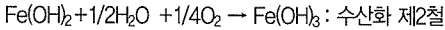
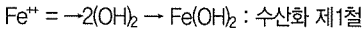
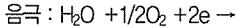
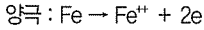


## 4) 물리적 특성

- ① 골재 안정성은 일사, 온도변화, 흡방수, 동결융해 등의 기상작용의 반복에 대해 안정적이어야 한다. 안정성은 유산나트륨의 포화용액에 골재를 침수시켜 건조시키는 조작을 반복하고 골재가 파손되는 정도를 나타낸다.
- ② 골재 내구성은 그 골재를 이용한 콘크리트에 대해 동결융해 시험으로 내구성을 조사한다.
- ③ 골재의 내마모성은 드럼 안에 골재와 강철공을 넣어 회전시켰을 때에 마모 소멸 된 골재의 손실량을 구하는 것으로 포장콘크리트에서는 30% 이하, 댐 콘크리트에서는 40% 이하로 규정하고 있다.
- ④ 골재의 내화성은 표준상태의 조골재 입자를 800℃로 30분간 가열하여 이때의 중량감소율 및 깨진 입자개수 감소율을 구하는 것으로, 중량감소율과 개수 감소율이 모두 5% 이하의 경우는 내화성에 합격인 것으로 한다.

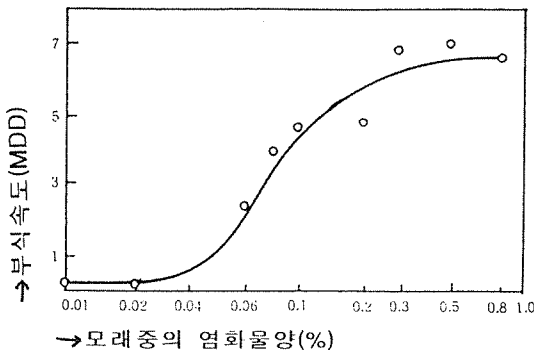
5) 골재 중의 유해물

- ① 골재중에 유기불순물이 포함되어 있으면 시멘트의 응결과 경화가 늦어지고 그 양이 증가하면 경화 불량을 일으킨다.
- ② 골재(특히 육지모래와 산모래)의 안에는 실트와 점토 같은 이분이 포함되어면 초기의 체적수축과 장기의 건조수축이 증가하여 균열이 발생하기 쉽고, 또한 강도저하와 내구성이 저하를 초래하기 때문에 그 허용한도를 규정하고 있다.(0.25-1.0%)
- ③ 골재상에 염분은 콘크리트속의 철근의 산화가 촉진되게 된다. Cl<sup>-</sup>는 수산화 제2철 (붉은 녹)로 변화하여 부식을 진행시킨다.



세골재중의 염분함유량과 철근의 발청과의 관계는 (그림 4)에 나타난 것과 같고 염분이 0.04%를 초과하면 급격히 발청속도가 커진다. 그래서 보통골재는 염분 허용한도를 0.04%로 하고, 설계시공이 특별히 고려되는 것을 전제로 0.1%까지로 정하고 있다.

(그림 4) 염분량과 부식속도 (저항분극법)



1.1.3 수급실태

1) 수요 및 공급추이<sup>(1)-(2)</sup>

① 수요

(표 3)은 연도별 골재 수요 추정이다. 골재의 수요는 1992년에는 1억 8,700만 m<sup>3</sup>에서 1997년에는 2억 5,900만 m<sup>3</sup>에 달한바 있으며, 2002년에는 2억 1,700만 m<sup>3</sup>의 수요를 나타내고 있다.

(표 3) 국내 골재 수요 및 채취 공급량의 추이 (단위: 백만 m<sup>3</sup>)

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
수요(A)	187	187	211	234	249	259	179	179	194	200	217
허가채취량 (B)	102	106	111	105	139	134	108	120	112	115	119
B/A(%)	54.6	56.8	52.6	44.7	55.8	51.7	60.6	67.1	57.9	57.4	54.9
비허가 공급량	85	81	100	129	110	125	70	59	82	85	98

주: 골재 수요는 시멘트 소비량 대비 1(톤): 4(m<sup>3</sup>)의 비교 원단위를 적용하여 추정

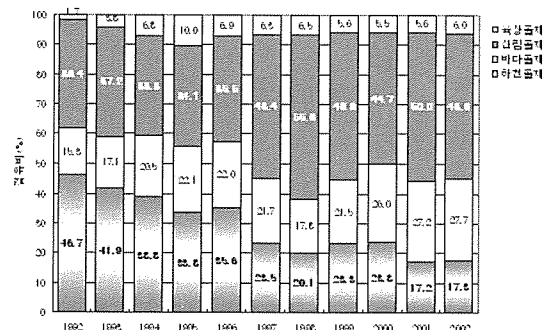
골재의 수요는 향후에도 꾸준히 증가하여 연간 2억 m<sup>3</sup>(약 3억 3천만톤) 이상의 수요가 지속적으로 발생할 것으로 예상된다.

② 허가 채취량

2002년 골재의 허가 채취량은 1억 1,900만m<sup>3</sup>에 달하여, 골재 수요량인 2억 1,700만m<sup>3</sup>의 54.9%에 그치고 부족량 9,800만m<sup>3</sup>는 발파 채석 등으로 추정된다.

산림골재의 점유비는 1992년 36.4%에서 2002년에는 48.9%로 증가되었으며, 바다골재의 점유비는 15.3%에서 27.7%로 증가된 반면, 하천골재의 점유비는 46.7%에서 17.3%로 크게 감소하였다.

(그림 5) 골재 품종별 채취 실적의 점유비 추이

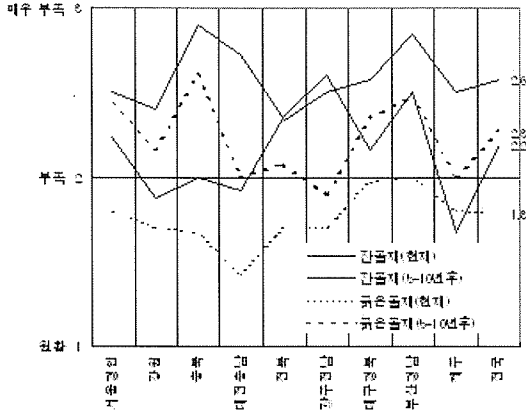


③ 수급전망

현재 골재 수급은 대부분의 지역에서 어려운 실정이다. 동시에 향후 5~10년 후에는 전 지역에서 부족 현상

이 심화되어 공급 불안정이 커질 것으로 전망된다.(그림 6)

(그림 6) 지역별 골재 수급 실태 및 전망에 대한 의견



2) 공급부족원인

① 부존 부족

우리나라의 골재로서의 개발 가능량(현재의 골재 수요량이 유지된다고 가정할 때) 30년 정도 공급이 가능한 물량이다.(표 4 참조) 따라서 특별한 수급 대책이 수립되지 않는 한, 향후 20년 이후로는 골재 자원의 고갈 현상이 심화될 것으로 전망된다.

(표 4) 우리나라의 골재 부존량 및 이용가능량 조사 결과 (단위 : 천 m³)

		부존량	개발 가능량	비중(%)
전국	총계	10,217,497	5,537,976	100.0
	하천골재	2,014,660	1,006,260	18.2
	바다골재	3,245,440	1,173,346	21.2
	산림골재	4,957,397	3,358,370	60.6
수도권	총계	2,722,973	1,258,506	100.0
	하천골재	186,145	84,875	6.7
	바다골재	1,984,471	806,097	64.1
	산림골재	552,357	367,534	29.2

② 대체골재 곤란

일시적으로 골재의 공급량이 부족할 경우, 물류비용 관제로 해외에서 수입하거나 원거리로부터 반입하기 어렵고, 아직 토골재 대체재를 찾기가 어려운 특성을 가지고 있다.

③ 환경 규제의 강화

1992년 브라질 리우에서 열린 유엔환경개발회의(UNCED)에서 “환경적으로 건전한 지속 가능한 개발(ESSD : Environmentally sound and sustainable development) 이념이 제창된 이후 각국에서는 개발 행위에 대한 환경 규제가 크게 강화되는 추세이다.

골재 채취도 사전환경성 평가제도, 바다골재의 채취 총량제, 계단식 채석 의무화 등 때문에 골재 자원의 안정적 수급에 절대적 장애가 되고 있다.

④ 골재 채취업의 영세성

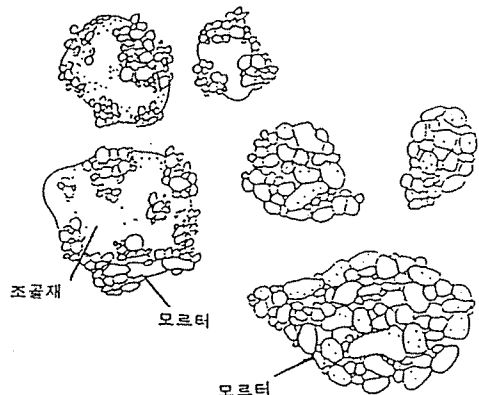
골재산업은 영세한 규모가 대부분이기 때문에 골재 자원을 체계적으로 개발하는데 지장을 준다. 이러한 영세성은 골재의 수급 불안정을 유발시키는 요인이다.

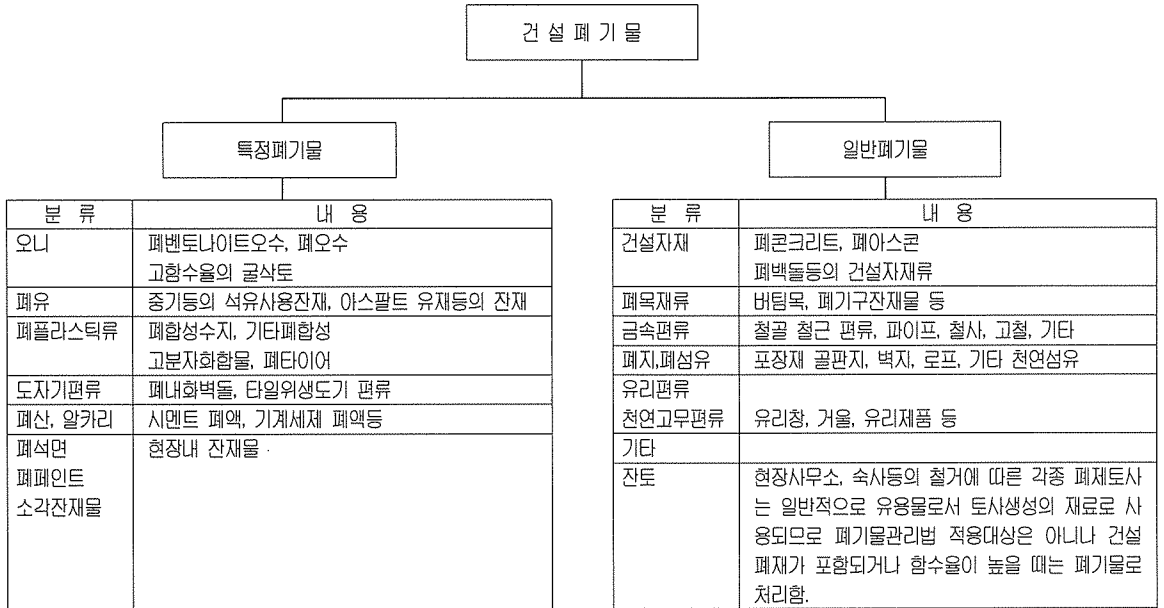
1.2 재생골재

1.2.1 정의

재생골재란 페콘크리트 분쇄 후 시멘트 모르타가 붙어있고 시멘트 모르타에 다시 세골재가 붙어 있는 형상으로 정의한다.(그림 7 참조) 이와 같이 재생골재는 모르타 부분을 포함하고 있기 때문에 일반 자연쇄석에 비해서 비중은 작고 흡수율과 마모감소량은 크다. 더 나아가서는 시멘트와의 수화반응(Hydration)에 지장을 초래하여 강도 발현에 영향을 주는 골재이다.<sup>(3-4)</sup>

(그림 7) 페콘크리트로부터 재생 조골재의 형상





## 1.2.2 관리실태

### 1) 발생

페콘크리트는 건설공사 수행과정에서 발생하는 건설폐기물로서 페기물관리법(제 2조 제 4호)규정에 의한 일반페기물로 정의된다.

(그림 7)에서 페콘크리트, 토사, 페아스콘을 포함한 건설페기물은 2002년 현재 8,600여만톤에서 2005년에는 9,700여만톤, 2010년경에는 약 1억 2천여만톤이 발생된다는 예측을 보여주고 있다.<sup>(3-4)</sup>

그러나, 실제로 2002년 환경부 통계에 따르면 건설

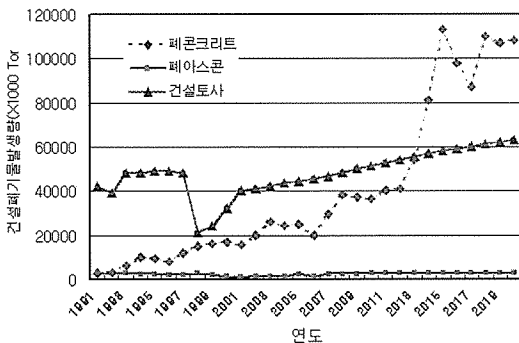
페기물은 하루 평균 약 25만톤 이상이 발생하고 있고 그 양은 매년 증가하는 추세이다(그림 9). 재생골재의 대부분의 용도가 성토나 매립용으로 90% 이상을 차지 하며 도로기층이나 콘크리트 레미콘용 등의 고급골재 활용은 매우 저조한 실정이다.

(표 5) 2001년도 건설페기물 발생량, 환경부

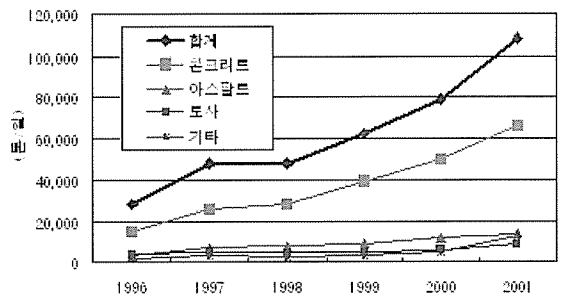
(단위:천톤/년)

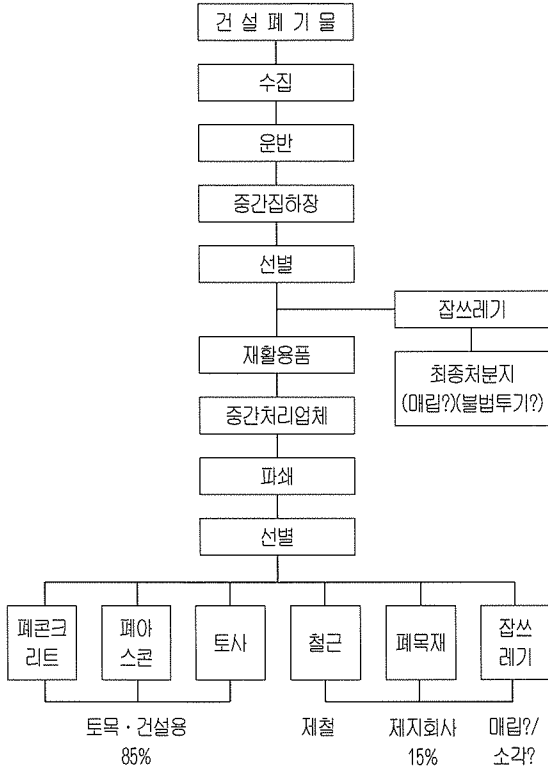
구분	계	토사류	콘크리트류	아스팔트류	기타
발생량	39,609	2,997	24,108	5,000	7,504
비율(%)	100.0	7.6	60.9	12.6	18.9

(그림 8) 국내 건설페기물 발생량 예측



(그림 9) 건설페기물 발생량 (톤/일)





2) 유통

건축폐기물이 일단 수집·운반업체의 중간집하장으로 반입되면, 선별과정을 거친 후, 페콘크리트·페아스팔트콘크리트 등 재활용 가능한 폐기물은 중간처리업체로 반출되고, 기타 잡쓰레기는 최종처분지로 반출된다.

3) 처리<sup>6)</sup>

① 매립

건설폐기물은 혼합배출이라는 특성때문에 주로 매립에 의존하여 1996년에는 약 400만톤의 매립규모였다. 매립처리장의 부족과 각종 규제 강화 및 새로운 쓰레기 처리장 건설이 해마다 어려워지고 있음에도 불구하고, 2000년 기준으로 약 370여만톤이 매립되고 있는 실정이다. 그러나 매립을 위한 수송비와 처분비용때문에 현장여건에 따라 상당량이 불법매립 또는 투기 방법으로 부적합하게 처리되어 환경오염의 원인이 되고 있는 실정이다.

② 재활용

자원절약과재활용촉진에관한법률에 따라, 2000년도 현재 연간 시공금액 150억 이상 중점 관리대상업자(429개 건설회사)의 재활용 실적은 아래(표 6)과 같다. 재활용율에 있어서 토사는 55.0%, 페콘크리트 33%, 페아스콘은 7.8% 등으로 나타나, 토사가 대부분을 차지하고 있고 페콘크리트는 저조한편에 속하며, 페아스콘은 재활용측면에서는 거의 이뤄지지 아니한다고 볼 수 있다.

(표 6) 건설폐기물 재활용 실적

(단위 : 만톤)

구분	계	페토사	페콘크리트	페아스콘	기타
계	1,385.4	762.5	457.0	107.9	58.0
성토용	1,172.0	701.5	363.9	80.1	26.5
보수공사용	16.7	2.8	4.4	2.1	7.4
도로기출용	169.1	57.0	85.4	21.8	5.0
아스콘용	4.1	-	0.3	3.7	0.2
기타	23.4	1.2	3.1	0.3	18.9

(표 7)은 재활용 용도별로 나타난 것으로서 건설폐기물의 84.5%가 성토 뒷채움재로 재활용되고 있고, 토사 발생중에 92%가 역시 성토/뒷채움재로 재활용하고 있다. 페콘크리트 총발생량중 약 80%가 성토/뒷채움재로 재활용하고 있으며 콘크리트 재활용으로서는 거의 이뤄지지 아니하고 있는 실정이다.

(표 7) 용도별 재활용

(단위 : %)

종류	합	토사	페콘크리트	페아스콘	기타
사용처					
뒷채움재/성토	84.5	92.0	79.6	74.2	45.7
보수공사용	1.2	0.4	1.0	1.9	12.8
기출/보조기출	12.2	7.5	18.7	20.2	8.6
아스콘용	0.3	-	0.07	0.3	0.4
기타	1.8	0.2	0.2	0.3	32.6