

골재의 생산 · 품질관리의 문제점 및 개선방안

최 민 수

〈한국건설산업연구원 주임연구원〉

1. 골재의 소비구조 및 품질환경의 변화

1.1 골재의 소비추이 및 동향

1990년에 들어 건설투자의 급증에 따라 골재의 수요가 크게 증가하고 있다. 표1에서 보는 바와 같이 1980년의 골재수요는 5천269만^m이었으나, 1994년에는 2억891만^m로 거의 4배 가까이 늘어났다.

〈표 1〉 연도별 국내 골재소비량 추이

(단위 : 천^m)

년도	골재소비량	조골재	세골재
1970	21,324	11,728	9,596
1975	33,739	18,556	15,182
1980	52,688	28,978	23,710
1985	75,905	41,748	34,157
1986	81,549	44,852	36,697
1987	91,021	50,061	40,959
1988	104,808	57,644	47,164
1989	112,840	62,062	50,778
1990	135,585	74,572	61,013
1991	176,741	97,208	79,533
1992	186,659	102,662	83,996
1993	186,725	102,699	84,026
1994	208,914	114,903	94,011

주) 1. 골재소비량은 시멘트와 골재의 비교투입 원단위 1(톤) : 4(^m)를 적용하여 추정

2. 조골재와 세골재 점유비는 55% : 45% 적용

그런데 골재자원은 사회일반의 통념과는 달리 유한한 자원으로서 앞으로도 부존량의 지속적 감소와 더불어 대체골재의 사용이 증가될 것으로 전망되므로 특별한 대책이 없는한 골재의 원활한 공급 및 품질 확보는 금후의 큰 과제로 남아있다.

1980년대 이후 국내의 골재산업환경의 변화를 요약하면 다음과 같다.

① 천연골재의 공급여건이 악화되면서 제조골재의 사용량이 증가되었다. 대표적인 예로 석산 개발에 의한 碎石골재의 사용이 크게 늘어났는데, 粗骨材 부문에서 碎石골재의 이용량은 1994년의 경우 90% 내외를 점유하고 있는 것으로 추정되고 있다.

② 미이용 자원이었던 海砂의 사용량이 증가되었다. 海砂자원은 1980년대 초반까지는 큰 관심을 받지 못하였으나 1980년대 중반이후 하천골재 자원의 점진적 고갈에 따라 해안지방을 중심으로 사용량이 증가되어 왔는데, 현재 인천·제주·부산·목포 등 대형 항구도시에서는 海砂의 사용이 보편화되었으며, 점차 내륙으로 확산되어 가고 있는 상태이다.

③ 골재자원의 원거리화가 지적될 수 있다. 건설활동량의 급증으로 그동안 대도시의 골재수요를 담당했던 도심 인근의 골재원이 대부분 개발이 완료되어 골재채취원이 점차 원거리화되고 있으며, 현재는 골재부존량이 풍부한 타 시·도에서의 반입도 급증하고 있는 추세이다. 이에

따라 골재의 운반코스트가 상승되고 있으며, 골재의 수송여건도 점차 악화되고 있는 상태이다.

④ 골재의 투입구조에 변동이 있었다. 종래는 골재가 주로 건설현장에 직접 투입되었으나, 1980년대 이후 레미콘산업이 골재의 주요 수요처로 등장하였는데, 1994년의 경우 골재소비량 중 레미콘용으로 사용된 비율은 약 60%를 점유하였다.

⑤ 골재의 품질악화를 들 수 있다. 이는 대체 골재의 이용이 증가되면서 나타난 현상인데, 미세척 海砂의 염분에 의한 철근의 부식, 저품질 碎石골재의 알카리골재반응(alkali-aggregate reaction)에 의한 균열, 陸골재의 니분(泥粉)에 의한 경화불량, 山골재의 風化에 따른 강도부족 등이 대두되고 있으며, 골재의 공급여건이 악화됨에 따라 마사토와 같은 불량골재를 사용된 예가 나타나기도 하였다.

⑥ 골재수송환경의 악화가 지적될 수 있다. 1980년대 이후 심화된 도심지 및 간선도로의 교통체증, 그리고 골재 과적차량에 대한 단속강화로 인하여 골재의 수송환경이 매우 열악해졌다.

1.2 골재의 소비행태

골재소비구조를 살펴보면 지금까지 주로 사용되어 왔던 하천골재의 부존량이 점차 고갈됨에 따라 1980년대 중반이후 細骨材는 세척해사의 사용이, 粗骨材는 석산개발에 의한 碎石(crushed stone)의 사용이 크게 늘어나는 추세를 보이고 있다.

레미콘제조용으로 사용된 골재의 품종별 소비 실태를 살펴보면 표2에서와 같이 우선 細骨材의 경우는 강모래가 아직까지 높은 점유비를 보유하고 있으나 1989년의 81%에 비하여는 점유비가 매년 우려할 만큼 하락되고 있는데, 이는 1980년대 이후 건설활동량의 증가와 더불어 강모래 자원이 점차 고갈되어 가고 있으며, 또한 환경 보존정책에 따른 개발규제가 증가되고 있

기 때문이다. 반면, 강모래의 공급이 감소함에 따라 海砂, 陸모래, 碎砂 등의 사용량은 늘어나는 경향을 보이고 있는데, 특히 海砂는 1989년에는 細骨材 소비량의 8.9%를 점유하는데 불과하였으나 1994년에는 35.7%까지 점유율이 상승되었다.

〈표 2〉 레미콘용 골재품종별 소비비율

(단위 : %)

구분 \ 년도	1989년	1990년	1991년	1992년	1993년	1994년	
세골재	강 모 래	81.0	76.1	75.2	66.0	63.8	54.9
	육지모래	7.9	6.5	6.9	11.4	8.1	7.3
	산 모 래	0.8	0.6	0.1	0.1	0.0	0.4
	바닷모래	8.9	15.9	16.6	22.3	25.6	35.7
	샌 모 래	1.7	0.9	1.0	0.2	2.0	1.8
	고로슬랙	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	기 타	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0
소 계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
강모래	강 자 갈	27.6	18.4	12.5	17.5	15.4	9.6
	샌 자 갈	69.6	79.9	86.0	79.8	81.8	89.6
	육지자갈	2.8	1.7	1.5	2.6	2.7	0.2
	고로슬랙	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	기 타	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.6
	소 계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

자료) 한국레미콘공업협회

주) 년도별 레미콘용 골재소비량 가운데 1989년 3,816만^m, 1990년 3,253만^m, 1991년 3,559만^m, 1992년 3,768만^m, 1993년 3,299만^m, 1994년 3,753만^m를 대상으로 조사한 결과임

〈표 3〉 조골재 최대치수별 레미콘출하비율

(단위 : %)

조골재 최대치수	1989년	1990년	1991년	1992년	1993년	1994년
19	0.0	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2
25	75.7	82.0	84.8	84.9	84.0	89.4
40	22.7	17.6	14.1	14.9	15.6	10.4
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
기타	1.7	0.3	0.8	0.0	0.0	0.0
합계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

자료) 한국레미콘공업협회

주) 년도별 레미콘출하량 가운데 1989년 3,251만^m, 1990년 2,648만^m, 1991년 2,847만^m, 1992년 3,126만^m, 1993년 2,642만^m, 1994년 2,979만^m을 대상으로 분석한 것임

자갈을 살펴보면 碎石의 소비비율이 매우 높은 편인데, 1994년의 경우 89.6%를 차지하였으며, 매년 증가되는 추세이다. 이에 비해 강자

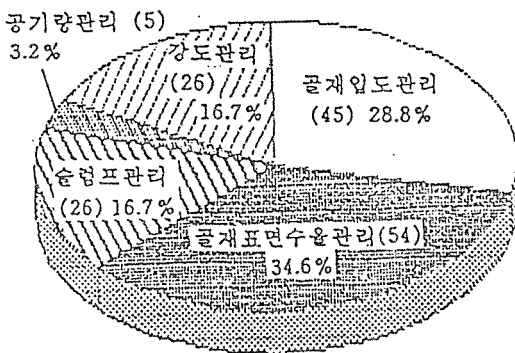
같은 강모래와 마찬가지로 점차 사용비율이 낮아지는 경향을 보이고 있는데, 1989년에는 27.6%를 점유하였으나 1994년에는 9.6%로 감소되었다.

한편 골재는 최대치수 25mm 규격의 사용비율이 지속적으로 증가되고 있는데 (표3 참조), 1989년에는 25mm 규격의 점유비가 75.7%였으나 1994년에는 89.4%로 증가되었다. 이와는 반대로 40mm 골재규격은 동기간에 22.7%에서 10.4%로 사용비율이 낮아졌다. 또한 粗骨材 최대치수 19mm 규격의 사용량은 1989년에는 0.2%의 극미한 량에 그쳤으나 1993년에는 0.32%로 점유율이 상승되었다. 이와 같이 전반적으로 粗骨材 최대치수는 작아지는 경향을 보이고 있으며, 이는 콘크리트의 품질측면에서 바람직한 현상으로 사료된다.

1.3 골재의 품질관리의 현상과 문제점

1) 골재품질의 문제점

일반적으로 레미콘의 제조는 다른 제품의 제조공정과 같이 원료를 가공하여 재료를 만들고 다시 이를 가공·조립하여 제품화하는 것과 같은 복잡한 공정이 아니고, 단순히 원료를 계량하여 혼합하는 것으로서, 본질적으로 재료관리를 충분히 할 수만 있다면 품질관리 그 자체는 사실 고도의 기술이 요구되는 것이 아니다.



〈그림 1〉 어려운 레미콘 품질관리 항목

그런데 하천골재자원의 고갈에 수반한 골재자원의 다양화와 품질의 지역차가 확대되어 가고 있으며, 또한 도시지역의 레미콘공장에서는 골재를 입수하는데 따른 리스크를 분산시키고 소규모 생산업자가 많은 골재업체의 현실때문에 같은 품종, 같은 크기의 골재라 하더라도 다수의 골재생산공장에서 구득하는 경우가 많다. 그러나 현재 레미콘공장에서는 골재의 품질이나 상태를 조정하는 설비를 보유하고 있는 경우는 드물며, 또한 골재의 품종, 크기, 產地別로 나누어 이에 적절한 수의 저장조나 저장bin(빈)을 보유하고 있지 못하다. 따라서 골재의 품질관리 상태가 레미콘의 품질을 좌우할 수 있는 가능성이 더욱 커지게 되었다.

레미콘업체를 대상으로 한 설문조사결과⁴⁾에 의하면 레미콘 품질관리 항목중 가장 어려운 항목으로는 그림 1과 같이 응답자의 34%가 골재 표면수용의 관리를 꼽았으며, 骨材粒度管理라고 응답한 경우도 29%나 되어, 슬럼프·강도·공기량의 관리보다 골재의 품질관리가 최대의 난제로 지적되고 있음을 알 수 있다. 골재의 품질관리가 어려운 이유로는 다음과 같은 요인을 거론할 수 있다.

① 최근 하천골재자원의 감소로 인하여 碎石骨材·海砂·陸골재·山골재 등으로 골재공급구조가 다변화됨에 따라 골재품질이 전반적으로 저하

② 골재생산단계에서 粒度·불순물·염화물량 등의 품질관리가 부적절

③ 건설현장의 터파기 공사 등에서 발생하는 비허가 골재의 대량 유통

④ 콘크리트제조현장에서 골재의 분류·저장·관리상태(특히 골재함수율)가 부적절

현재 레미콘공장에서 가장 선택의 곤란을 느끼는 것이 골재의 구입문제이다. 사실 골재 이외의 원재료는 입수선택에 곤란을 겪는 경우가 거의 없다. 그런데, 현재 국내에서는 천연골재, 특히 細骨材의 고갈은 큰 문제로 대두되고 있다.

細骨材는 콘크리트의 여러가지 성질, 예를 들면 워커빌리티, 공기연행성, 수밀성 등의 중요한 품질을 결정하는 요인이라고 할 수 있는데, 1970년대 후반 이후로 海砂, 陸모래, 山모래, 碎石 등과 같은 대체골재의 사용이 증대하기 시작하였으며, 海砂가 염화물이라는 리스크를 안고 있는 것과 마찬가지로 山모래, 陸모래 등 이른바 하천골재의 대체품인 천연골재에는 거의 모두 그 생성과정에서 기인되는 결점을 어느 정도는 갖고 있다.

2) 골재와 콘크리트구조물의 내구성

한편 과거에는 콘크리트구조물의 내구성은 현저하게 크고, 鋼構造와 달리 유지관리도 거의 필요없는 것으로 인식된 적이 있었다. 그런데 1980년대 중반이후 건설된지 20년이 채 되지 않은 비교적 새로운 콘크리트구조물에서 심각한 성능저하현상이 나타나거나 심지어 파괴되는 현상이 발생하고 있으며, 또한 최근에는 콘크리트구조물에 대하여 「補修」「補強」「維持管理」「壽命」「耐久性 設計」라고 하는 새로운 용어들이 빈번하게 사용되고 있다.

이와 같이 콘크리트구조물의 내구성이 문제가 되고 있는 원인으로는 우선 구조물이 세워진 주변 환경조건이 과거보다 일반적으로 악화되었기 때문이라고 볼 수도 있을 것이다. 그러나 보다 근본적인 이유로는 과거 20-30년 사이에 콘크리트의 사용재료 및 제조법, 시공법 등에 큰 변화가 일어났으며, 그 영향이 매우 컸다고 사료된다. 이러한 변화가운데 골재의 품질변화를 예로 들어 그 변화가 콘크리트구조물의 내구성에 어떠한 영향을 미쳤는가를 살펴보고자 한다.

예전에는 골재라고 하면 일반적으로 하천산 골재를 의미했다. 그러나 1970년대 부터는 하천관리에 관한 법률이 점차 강화되었고, 또한 지속적인 골재수요의 증대에 기인하여 하천산 골재가 양적으로 감소됨에 따라 1980년대 중반 부터는 하천골재의 채취·공급이 점차 곤란을 겪게 되었다. 이 시기를 경계로 하여 粗骨材는

碎石의 사용이 차츰 일반화되었고, 細骨材로서는 海砂를 이용하는 예가 많아졌다. 이와 같은 사용골재 품종의 변화가 콘크리트구조물의 내구성에 직접적으로 큰 영향을 미친 하나의 원인이라고 볼 수 있다.

우선 海砂의 경우는 未洗滌 海砂중에 포함된 염화물이 콘크리트내의 鋼材를 부식시키는 문제가 나타났다. 이러한 악영향은 예전부터 주지되어 온 사항이며, 이에 대처하기 위하여 1986년 5월에 개정된 KSF 4009에서는 海砂에 포함된 염화물의 양을 「모래의 絶乾重量에 대하여 NaCl로 환산하여 0.04% 이하」로 억제하는 규정이 삽입되었다.

그러나 1980년대 중반이후 하천골재의 부족 현상이 심화된데다 건설활동의 증가로 골재의 공급부족이 극심해지면서 海砂의 사용이 큰 폭으로 증가되었으며, 이 시기에는 除鹽하지 않은 海砂도 상당량이 사용된 것으로 추정되고 있다. 또한 이러한 海砂의 사용과 더불어 碎石과 海砂의 복합사용에 따른 單位水量의 현저한 증가가 구조물의 내구성 저하에 또한 큰 영향을 미쳤다고 생각할 수 있다.

염화물에 의한 구조물의 열화는 1990년대 이후 사회적으로 큰 문제로 야기되었으며, 이에 따라 1991년 6월에는 KSF 4009를 다시 개정하여 골재중의 염화물만을 규제하는데서 벗어나 토목구조물과 건축구조물에 대하여 콘크리트중의 염화물 총량을 0.3kg/m³로 규제하는 소위 「콘크리트속의 염화물 총량 규제」가 나타나게 되었다.

한편, 碎石의 경우는 특정의 암맥에서 채취한 碎石을 사용함에 따라 우리나라에서는 아직 큰 사회적 문제가 되고 있지는 않으나, 외국에서는 알카리골재반응에 의한 콘크리트의 성능저하가 보고되고 있으며, 큰 팽창과 균열을 동반한 새로운 타입의 성능저하현상으로써 전세계적인 관심사로 등장하고 있다.

우리나라에서는 1990년대 이후 반응성 골재의 판정방법과 반응억제방법을 중심으로 한 연

구가 부분적으로 행해지고 있는데, 연구결과에 의하면 우리나라의 각지에 알카리골재반응을 일으킬 가능성이 있는 광맥의 존재가 부분적으로 확인되고 있으며, 또한 碎石은 일반적으로 그 石質이 균일한 점이 특징이지만, 石質이 나쁜 것이라면 콘크리트의 내구성에 미치는 악영향이 현저하게 나타날 위험이 있다. 알카리골재반응도 그 하나의 예이지만, 최근에는 乾濕의 반복 등에 의한 骨材粒의 팽창과 파괴가 원인이 되어 콘크리트의 성능이 저하되었다고 생각되는 예도 발견되고 있다. 따라서 새로운 골재를 상용하는 경우에는 그 반응성을 반드시 조사하고 의심나는 골재의 경우에는 적당한 대책을 세워 사용하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

2. 골재생산공장에서의 골재의 생산 · 품질관리

2.1 골재에 요구되는 품질

골재의 성질은 母岩의 石質과 風化의 정도에 따라 다르며, 碎石·碎砂는 비교적 그 영향이 뚜렷하다. 한편, 하천모래·하천자갈도 石質본래의 영향이 크기는 하지만, 하천에서의 퇴적상태 또는 공장폐수의 영향을 받기도 하며, 水系에 따라 그 상태가 달라질 수도 있다. 또한 슬래그(slag)골재와 인공경량골재는 원료가 되는 소재의 성질, 제조방법에 따라 그 성질이 크게

변화한다. 각종 암석의 기본적인 물리적, 열적 성질은 표4에 정리하였다.

또한 일반적으로 레미콘공장에서는 수요자로부터의 콘크리트품질에 관한 지정사항을 확인하고, 골재의 종류에 따라 구분하여 배합 등을 결정하고 있는데, 콘크리트의 요구성능과 골재의 성질과의 관계는 표5와 같다.

또한 표6은 골재의 품질을 ① 고유의 품질로서 제품제조상 개선불가능한 사항, ② 파쇄나 채가름 또는 원재료의 정선처리에 의해 개선가능한 사항, ③ 품질변동이 콘크리트의 균등성에 나쁜 영향을 미쳐 제조처리상 관리하여야 할 사항으로 분류해 본 것이다. 이렇게 구분된 골재의 성질을 충분히 이해하고, 골재채취지에서의 품질 개선방책을 골재업뿐만이 아니라 구입자인 레미콘공장측에서도 적극적으로 참여하고, 협의하여 골재의 품질확보에 유의해야 한다.

그런데 이 분류는 개략적인 것으로서 精選處理에 의해서 比重이 적은 木片, 조개껍질, 軟石, 씻기손실분 등을 제거하게 되며 고유의 품질이라 할 수 있는 비중, 吸水率, 摩耗減量의 개선도 가능하며, 이외에 粒形이 개선된다면 摩耗減量은 더 한층 개선될 수 있을 것이다.

① 인위적으로 품질개선이 가능한 것

표6에서 볼 수 있는 바와 같이 골재의 대소립의 혼합비율을 변화시켜 粒度의 개선, 實積率의 향상 등을 기대할 수 있고, 크러셔 파쇄공정,

〈표 4〉 각종 암석의 성질

종류	비중	강도(kg/cm ²)			탄성계수		흡수율 (%)	내열도 (°C)	열전도율 (Kcal/m ² h°C)	열팽창율 (10 ⁻⁶ /°C)
		압축	휨	인장	영계수 (t/cm ²)	프와송 비				
화강암	2.65	1500	140	55	520	0.20	0.35	570	1.8	7.0
안산암	2.50	1000	85	45	-	-	2.5	1,000	1.5	8.0
응회암(연)	1.50	90	35	8	-	-	17.2	1,000	0.7	8.0
사암(연)	2.00	450	70	25	170	0.19	11.0	1,000	0.7	8.0
점판암	2.70	700	700	-	680	-	-	1,000	-	-
대리석	2.70	1200	110	55	770	0.27	0.30	600	2.0	7.0
석회암	2.70	500	-	-	310	0.25	0.5-5.0	600	1.8	5.0
경석(연)	0.7	30	-	-	70	-	-	-	0.8	-

〈표 5〉 콘크리트의 요구성능과 골재성질과의 관계

콘크리트의 성능 골재의성질	아직 굳지않은 콘크리트					경화콘크리트												
	위커빌리티	블리닝	공기량	응결·경화	발열	비중	강도	영계수	건조수축	이상팽창	수밀성	중성화	내동결융해성	내마모성	내화성	내화학약품성	방사선차폐성	단열성
화확성분				○		○	○			◎		○			○	◎	○	○
비중		○				◎	○	○				○					◎	◎
흡수율	○	○					○		◎		○	○	◎					○
강도						◎	◎	○			◎	○	○	◎				
입형, 입도, 최대치수	◎	◎	○				○		○		◎	○						
단위용적중량, 실적율	○	○					○		○		○	○						
내구성(안정성)							○						◎					
내마모성							○							◎				
내화성					◎													
열전도, 열팽창성																		
유기불순물				◎			○				○							
세척시험 손실량	○	○	○	○		○	○		◎		◎	○	○					
염분				○		○			○		○					○		
점토덩어리, 연석편						◎	◎	○	○				○	◎				

주) ◎ 밀접한 관계가 있다. ○ 어느 정도 관계가 있다.

분급방법, 세척실비등의 개선으로 유기불순물, 염분의 제거 등이 가능하다.

② 인위적으로 품질개선이 불가능한 것

표6에 나타난 각 항목중 암석 고유의 물리적, 역학적 또는 광물학적 성질에 관한 것은 생산기술에 의한 개선이 불가능하다. 일반적으로 골재의 품질은 상호 어느 정도 관련성이 있다고 하는데, 비중이 큰 것은 吸水率이 작고, 강도·안정성·마모저항성이 뛰어나며, 온도변화·동결융해 등 기상조건에 대하여 안정하다고 한다.

③ 변동을 관리하여야 할 품질항목

이는 콘크리트의 배합, 위커빌리티에 관계되는 것으로써, 이와 같은 변동에 의한 單位水量

에 변화가 일어나면 콘크리트의 강도에도 영향을 미치게 된다.

다양한 품종의 혼합사용이 증가되고 있는 細骨材에 있어서는 粗粒率 외에 단위용적중량, 實積率과 單位水量과의 관계가 명확해지고 있어 앞으로는 實積率도 관리 항목이 될 것으로 보인다. 그리고 粒度條件 때문에 비중이 다른 골재를 혼합사용할 경우, 그 혼합비율이 정확하게 이루어지지 못하는 경우가 많으며, 이 경우 콘크리트의 품질도 균일치 않아 콘크리트의 용적이나 細骨材, 위커빌리티에 영향을 주게 된다.

2.2 골재공장에 있어서의 골재관리 방법

〈표 6〉 골재의 성질

항 목		특 징	요인 및 개선방법		
개선가능한 성질	입형	체구분	대·소립 혼합비율		
	입형 및 치수	단위용적중량, 실적율	암질, 풍화정도에 따라 다르다.	크리셔의 종류, 성능파쇄공정 등에 의한 개선	
		최대치수			
	유해물 함유량	74mm이하의 미립	입자표면 및 입자 사이에 혼재한다	세척설비에 의한 개선	
					점토피
					유기불순물
					염분
목편, 조개껍질					
비중 1.95이하의 것	석탄, 亞炭	重液, 浮遊選別, 彈性分給, 파쇄분급			
연석	풍화, 연약한 입자				
개선불가능한 성질	비 중	고유의 성질	광물의 종류, 조직의 치밀성		
	흡 수 율		풍화의 정도, 조직의 치밀성, 다공성		
	안 정 성				
	내 화 성				
	강도	마모감량	입자의 강도, 인성, 경도, 형상		
		파쇄치			
	유해광물 함유	알카리골재반응 광물	- 암석내부에 포함 - 반응후에 팽창성물질을 생성	오팔, 크리스토파라이트, 돌로마이트, 옥수(玉髓), 화산재 등	
알칼리공급광물		휘비석, 나토로라이트(나트륨沸石)			
수화팽창성 광물		석회, 돌로마이트, 점토광물			
황화철광		황철광, 백철광, 磁流鐵鑛			
황산염광물		석고, 알루미늄아겔, 에트링가이트, 사문암, 블루사이트			
변동을 관리해야 할 성질	입도, 조립률, 함수상태(표면수율), 비중, 굵은골재 실적율				

2.2.1 골재생산단계에서의 품질확보의 필요성

양질의 천연골재자원의 고갈로 인하여 골재생산의 소규모화, 각기 다른 產地에서 생산된 골재의 복수구입, 골재품종의 다양화 등은 엄연한 현실으로써, 안정된 품질의 골재를 동일한 생산공장에서 대량 구입하는 것은 점차 어려워지고 있다. 결국 다품종의 골재를 혼합사용하게 됨에 따라 부지나 설비가 한정된 수유처, 특히 레미콘공장의 입장에서는 일원적인 책임을 지고 품질관리를 하고 있는 현재의 체제하에서 볼 때

소요의 성능을 가진 콘크리트를 얻는데 어려움이 가중되고 있다.

일반적으로 레미콘공장에서 粗骨材는 40-20mm, 20-13mm, 13-5mm로 구분하여 저장하고 있으며, 細骨材는 표준적인 粒度를 확보할 수 있는 지역에서는 단일품종, 표준적인 粒度의 확보가 어려운 지역에서는 굵은 모래와 가는 모래의 두 품종으로 나누어 저장하고 있다.

또 수급의 원활화를 고려하여 특정공급처의 제품만으로는 물량확보가 불안정하기 때문에 공급처가 다른 골재를 사용하는 사례도 많다. 그러므로 골재저장은 단순하게 粗骨材는 두 품종,



細骨材도 두 품종이라고 할 수는 없으며, 같은 粒度의 것이라하더라도 강자갈, 부순돌, 강모래, 山모래, 海砂 등 여러 품종으로 구분하여 저장하지 않으면 안되는 것이 현실이다. 더우기 천연산 모래의 碎砂를 혼합하거나 인공경량골재를 사용하게 되면 저장장소는 더욱 늘어나게 마련이다.

그런데 이들 골재를 저장소에서 인출하여 배척플랜트로 투입할 때에는 배척플랜트내에 저장구분에 상당하는 골재저장조가 필요하게 되나 실제로는 플랜트의 구조설계상 그만큼의 저장조는 구비되어 있지않다. 따라서 사용할 때에는 사용시마다 골재를 바꿔넣게 된다.

이와 같이 여러품종의 골재를 레미콘공장에서 합리적으로 사용하기 위해서는 입고되는 골재마다 배합을 바꾸고, 일상관리측면에서도 골재품종별로 粒度나 表面水를 측정하여 그 때마다 배합수정을 하지않으면 안된다. 그러므로 레미콘공장에서 조정된 골재를 안정적으로 인수할 수 있다면 제조된 콘크리트품질은 극히 안정된것이 될 수 있을 것이다. 細骨材, 粗骨材의 품질을 최대한 안정시켜 일정한 품질로 수용처에 공급하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

2.2.2 골재공장에 있어서의 골재조정

레미콘공장에서 골재의 품질에 대하여 요구하는 사항으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- ① 表面水率이 항상 일정한 골재
- ② 소요의 粗粒率로 미리 조정된 細骨材
- ③ 單粒度의 粒群으로 나누어진 粗骨材
- ④ 實積率이 높은 細骨材와 粗骨材
- ⑤ 改質처리된 低品質 골재
- ⑥ 除鹽된 모래

(1) 表面水率이 항상 일정한 細骨材의 제조

일반적으로 細骨材는 최대 10% 정도의 표면수를 갖고 있으며, 粗粒率이 낮을 수록 또는 土粉이 많을 수록 다량의 表面水를 함유하고 있다. 이같은 細骨材를 옥외나 사이로 등에 저장

하면 表面水는 서서히 하부로 이동하고, 시간이 경과되면 수분의 탈수가 가능하다. 表面水率이 4-5% 이하 정도로 되면 물의 상하방향으로의 이동은 일어나지 않는다고 한다. 細骨材의 표면수의 수분탈수방법으로는 자연탈수법, 강제탈수법이 있다.

(2) 소요의 粒度로 조정된 細骨材의 제조

골재공장에서는 사전에 비중 등 재질을 확인하고, 表面水를 일정하게 처리한 細骨材를 종류별로 저장하여 소요의 粒度(粗粒率)가 되게끔 개별적으로 계량한 후 벨트콘베이어에 동시에 떨어뜨려 혼합한다.

(3) 粒群別로 單粒度의 粗骨材의 제조

粗骨材는 40-20, 20-13 및 13-5mm로 체가름하여 세 곳으로 구분저장한다.

(4) 實積率이 높은 細骨材와 粗骨材의 제조

암석에서 나오는 부순돌, 碎砂는 잡물질이나 유해불순물의 제거 이외에 골재입자 가운데 각이진 골재를 적게 하여 實積率을 향상시키는 것이 과제이다. 석회석 계통의 골재의 實積率은 일반 碎石에 비하여 약간 커지나 摩耗減量이 크기 때문에 생산과정에서 微粉이 상당량 발생하고 있으며, 출하후에도 생산과정 여하에 따라 微粉이 최저 4-5% 정도까지 발생하기도 한다.

實積率이 높은 골재는 콘크리트의 單位水量을 적게 하고 내구성이 뛰어난 콘크리트를 만들 수 있다. 부순돌을 제조함에 있어 일반적인 롯데별로는 實積率이 53-54% 정도밖에 되지 않으나, 고성능분쇄기를 사용하면 粒形판정 實積率을 58-61% 까지 높힐 수 있다. 예를 들면 軟石처리기를 사용하면 골재상호간의 마찰을 통해 갈아오개는 작용에 의해 軟石 등이 제거되고, 골재의 모난 부분이 없어져 實積率이 60% 이상으로 향상된다. 이와같은 분쇄기를 부순돌이나 자갈제조 프로세스에 이용하면 좋을 것이다.

(5) 저품질 골재의 改質

골재의 품질향상은 원재료의 채취장이나 파쇄 체가름 단계에서 이루어지는 것이 바람직하다. 木片, 土粉 등의 가벼운 입자는 광물질 분말을 혼탁시켜 동액, 맥동활동수, 상승류수 등으로 상당량이 분리된다. 海砂 등에 포함된 조개껍질에 대해서도 트럼벨 또는 진동체를 통과시키는 것만으로도 반감될 수 있다는 자료도 있다.

또한 硬石, 軟石 등이 혼합되어 있기 때문에 吸水率 등의 품질규격치를 만족시키지 못하는 골재에 대하여는 자원의 효율적인 활용을 피하기 위하여 이들 골재를 改質하여 이용하는 것도 고려되고 있다. 예를 들면 위의 (4)에서 설명한 바와 같은 軟石處理機를 사용하면 효과가 있다고 하겠다.

2.3 골재품질의 안정화를 위한 중간 유통기지에 대하여

여기서는 콘크리트에 사용되는 골재에 대해서 골재공급지와 레미콘공장 중간에 위치하여 골재품질의 안정화를 목적으로 한 골재유통기지를 검토해 보기로 한다. 이와같은 중계기지는 유통이 우회된다든가, 적재, 하차 등이 추가되거나 부가가치가 높은 고품질의 골재를 精選할 수 있어 레미콘공장에서 단독으로 처리하는 것보다 수효와 입지면에서 충분한 검토가치가 있다고 본다. 이들 공장은 골재공급원과 수요지가 멀리 떨어져 있다면 실현성이 더욱 높아진다.

이러한 공장의 설치목적은 우선 소요되는 粒度로 조정되어 표면수가 안정된 細骨材의 공급이며, 다음으로 單粒度의 粒群으로 체가름된 粗骨材의 공급이다. 후자의 경우에는 골재공급원이 달라지면 비중이나 粒形이 달라지므로 납품수량이 보증되는 큰 규모의 공급원이면 오히려 여기에서 조정하여 직접 레미콘공장으로 공급하는 것이 이득이 될 수도 있다. 그러나 細骨材든 粗骨材든 앞서 언급한 목적에 부합되는 품질을 확보하기 위해서는 원재료로서의 골재의 품질을

개선처리하는 설비가 필요할 것이다.

이 가운데 細骨材 처리를 위한 유통기지는 시급한 실현이 요구되는데, 細骨材처리기의 목적은 각 공급처에서 공급되는 다양한 원재료(모래, 碎砂)를 다량 확보하여 소정의 비율로 균등하게 혼합하여 곧바로 콘크리트에 제조에 사용할 수 있도록 소요의 粒度, 實積率, 염화물함유량으로 조정하고, 그외에 표면수를 수분의 상하

(표 7) 잔골재 처리 유통기지의 장·단점

장 점	단 점
① 레미콘공장의 모래저장 사이로가 1기로 충분하다(잔모래, 굵은모래로 구분 할 필요 없다.)	① 모래 구입대금이 올라간다.(운반비, 조정비가 가산된다) ② 새로운 공장의 건설비가 소요된다. EX. 원료싸이로 5기 재품싸이로 3기 계량기 5기 기계식 강제탈수기 1기 배수처리장치 1식
② 레미콘공장의 배척플랜트의 골재저장조도 1개로서 가능하다.	
③ 사이로 건설비가 낮다.	
④ 레미콘공장의 부지면적이 감소된다.	
⑤ 모래의 품질이 안정된다.(비중, 표면수, 입도, 실적을 등이 일정)	
⑥ 슬럼프 관리가 용이하다.	

이동이 없도록 조정하고, 품질시험검사를 실시하여 그 시험성적서를 각 레미콘공장에 발행하는 것이다. 이러한 細骨材유통기지의 장·단점을 들어보면 표7과 같다.

금후 이같은 문제점을 구체적으로 검토하여 골재품질처리를 위한 유통기지의 생산규모와 적절한 입지를 선정하는 것이 요망된다. 이러한 경영형태는 본래 골재업계의 과제라고 생각되나 레미콘업계, 골재업계 또는 제3자도 검토대상이 될 것이다.

그러나 다양한 품종을 취급하면서 신뢰성이 높은 골재를 생산한다는 것은 그리 간단한 것만은 아니다. 그러므로 건설업계에서의 요구성능 시스템을 이해하고 있는 레미콘생산업계가 골재에



대한 요구성능시스템에 참여하는 것은 신뢰성 등의 면에서도 바람직하며, 여러 곳에서 납품되는 다양한 골재 품질의 안정화를 위하여 레미콘 공장내에서 관리시험을 하고 있는 현실을 고려하면, 결국 레미콘공장의 연장이라고도 생각된다.

3. 레미콘공장에서의 골재선정 및 품질관리

3.1 골재구입시에 있어서의 유의사항

최근 우리나라의 콘크리트용 골재는 전후의 고도경제성장에 따라 그 수요가 증가하였지만, 자원으로써 여러가지 제약을 받고 있으며, 저품질화의 경향이 두드러지고 있는 상황이다. 게다가 그동안 콘크리트용 골재는 인근에 있는 골재를 이용하였기 때문에 처음에는 경제적인 잇점이 있었지만, 지역의존성이 강해지면서 양호한 품질의 골재를 얻기가 매우 곤란해졌다.

이러한 현상을 토대로 할 때 골재를 선정하는 데는 당연히 콘크리트의 사용목적 및 용도와의 관련성을 충분히 파악하고 콘크리트의 요구성능 확보에 만전을 기하도록 노력할 필요가 있다.

이를 위하여는 우선 콘크리트의 제조와 관련된 기술자는 골재채취현장을 직접 찾아가 골재의 원료상태나 룬드(lot)의 균질성 또는 精選工程, 저장 또는 취급상태를 파악하는 것이 중요하다. 예전의 하천자갈이나 모래는 잡다한 粒度의 것이라도 괜찮았지만, 요즘의 천연산 골재는 결점을 관리하기 위한 체크빈도도 높아나가지 않으면 안된다. 특히 천연적으로 존재하고 있는 원재료의 품질을 채취가 진행됨에 따라 단기간에 변화하는 경우가 많다는 점에 주의해야 한다.

그런데, 레미콘공장에서 납품검사를 사내규격에 엄격히 규정하고 있거나 혹은 계약시 납품검사를 실시하도록 했더라도, 이미 공장에 반입된 이상, 이를 도로 반품을 시키는 것은 어려운 것

이 사실이다. 그러므로 불량골재가 레미콘공장에 입하되기 이전에 배제하는 것이 중요하며, 그렇지 못할 경우 금후에는 불량골재의 침투를 방지하기가 점점 더 어려워질 것이다. 인공적으로 생산되는 골재는 碎石과 같은 것은 천연산 골재에 비하면 품질이 어느 정도 안정되어 있다고 할 수 있으나 방치해 두어도 좋다는 의미는 아니다.

한편 골재생산공장에서 細骨材의 표면수 관리에 있어서 水洗處理를 한 후 수분조정을 완벽하게 하고 있는 곳은 드물며, 건식 체가름을 할 경우에도 공장에서 출하시에 분진발생대책으로서 撒水를 적극적으로 실시하는 곳도 드문 것 같다.

예를 들자면 저장상태에 따라서 빗물에 의해서 가루상태의 碎石이 씻겨나가는 경우도 있다. 또한 암석분은 흙이 아니므로 적은 양은 관용될 수 있지만 고르게 분포되어 있지 못하고 편재하는 경우가 있는데, 이는 골재품질상 매우 바람직하지 못하다. 따라서, 碎石은 생산상황이나 저장상태를 가끔 실제로 검사하는 것이 필요하다.

또한 골재는 저장장소 및 저장방법에 따라 세조립의 분리가 일어나며, 撒水나 빗물에 의해 저변층에 微分이 퇴적하여 생각지도 않은 미립자의 편재를 일으키는 경우도 있다. 따라서 골재 저장장소의 결점을 알아내서 그 정도를 파악하고 대책을 게을리하지 않는 것이 중요하다.

3.2 골재의 선정기준

레미콘공장에서 근무하는 기술자는 레미콘의 계약시에 레미콘출하일정에 따라 콘크리트 구조물의 사양을 확인하고, 콘크리트의 요구성능을 만족하도록 골재의 선정과 시방배합의 결정을 행하는 것이 통례로 되어있다.

그런데 레미콘의 수요증대와 골재자원의 고갈 때문에 다종다양한 골재가 사용되는 경우가 많으며, 일반적으로 레미콘공장에서는 2종류 이상

의 골재를 사용하는 것이 사실이다. 그런데 복수의 골재를 구매함에 있어 골재유통이 복잡하고 채취지가 일정하지 않아 혼란이 일어나는 경우가 있으며, 가격이 낮은 것이 좋다는 안이한 생각을 가지는 경우도 있다.

확실히 근처에서 싼 값으로 공급되는 골재를 이용하는 것은 콘크리트를 생산하는데 있어 경제적으로도 큰 장점이 있고 어느 면에서는 바람직하지만, 콘크리트 구조물의 사용목적, 요구성능을 고려하여 기술적으로 응용해서 배합을 수정하거나 혼합골재로서 각각의 골재의 단점을 상호 보완하도록 하는 배려가 요망된다.

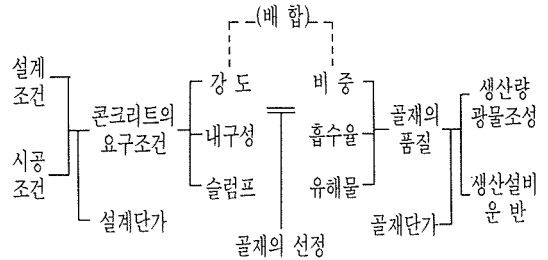
특히 최근에는 골재에 포함된 유해물에 의해 콘크리트의 균열, 내구성 저하 등이 문제시되고 있기 때문에, 새로이 골재를 구입하는 경우에는 반드시 產地調査를 실시하고 품질, 잔존상태, 생산량, 제조설비, 운반방법, 공해대책 등을 충분히 파악하고 계약해야 한다. 또 이 문제에 대하여는 기술자, 자재구입 담당자 뿐만 아니라 경영책임자도 함께 품질과 경제성을 고려하여 대응하는 것이 필요하다.

예를 들면 단지 骨材單價가 싸면 좋다는 안이한 생각으로 골재를 구입하여 시방배합을 확인해 보니 교체이전의 골재 단가와 비교하여 1m³ 당 콘크리트 生産原價가 높아졌다는 예도 있는데, 이러한 경우가 발생하면 크레임과 손실에 관련되기도 하므로 나중에 손해보지 않도록 유의해야 한다.

골재의 선정에 있어서 일본의 重倉가 제안한 골재선정프로그램의 一例²⁾를 그림2에 제시하였다.

한편 콘크리트용 골재로서의 품질조건은 일반적으로 청정, 견경하고 粒形, 粒度가 좋으며, 내구성·내화성이 있고 유해물을 포함하지 않은 골재이면 우수한 골재라고 평가할 수 있다.

여기에 대하여는 학회 등의 골재품질규정과 앞에 나타난 표5의 콘크리트의 요구성능과의 관계를 재확인하고, 골재의 선정과 사용에 대하여 유의해야 한다.



(그림 2) 골재 선정 프로그램

3.3 골재품종별 생산·품질관리

골재품종별로 골재선정시 유의점에 대하여 기술하면 다음과 같다.

1) 山모래, 山자갈(陸모래, 陸자갈)

이 종류의 골재에는 泥粉, 부식토 등의 유기물의 혼입이 예상되므로 충분히 세척하여 사용해야 하지만, 생산자측에서의 품질의식 부족과 공해대책 등으로 인해 충분하지 않을 수도 있으므로 收入時의 目視檢査, 또는 1,000cc의 메스 실린더를 사용한 간이시험 등으로 확인할 필요가 있다.

더욱이 최근과 같이 전답(전답에서 채취하는 陸모래, 陸자갈도 세척도 불충분하면 泥土粉 외에 농약 등에 따른 영향으로 응결경화를 방해하는 예도 있기 때문에 충분한 세척이 필요하다. 또한 山모래중에는 細粒이 많고, 또 風化된 山모래는 吸水率이 크다는 문제점이 있으므로 이러한 결점을 보충하기 위해서 다른 모래와 혼합하여 粒度조정과 품질저하를 초래하지 않도록 노력해야 한다.

이와 같이 混合砂로서 사용하는 경우에는 각각의 모래의 粒度와 품질을 확인하고 시험비율로 콘크리트의 품질까지의 확인하여 혼합비율을 결정하는 것이 요구되며, 실제로 레미콘 출하시에는 개별적으로 각각의 모래를 계량으로 혼합 사용하는 것이 좋은 품질을 확보하는데 중

요하다.

하천모래와 산모래 4종류를 사용한 콘크리트의 표면경화 속도의 차이를 그림3에 나타내었으며, 泥粉을 9.3%를 포함한 산모래(原砂)와 그것을 1회 세척하여 4.1%로 한 것, 그리고 하천모래(泥粉 0.5%)를 사용한 콘크리트의 건조수축과의 관계로 그림4에 나타내었다. 이 그림으로 판단해 보면, 산모래는 泥粉의 영향으로 하천모래와 비교하여 콘크리트의 표면경화도 크게 다르고, 산모래 세척의 유무가 건조수축에 큰 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 또 운모가 1%정도 포함되면 콘크리트의 강도, 내구성이 저하하기 때문에 주의해야 한다.

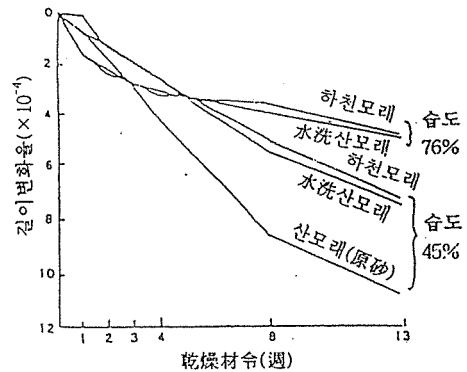
2) 碎石, 碎砂

碎石, 碎砂를 사용하는 경우 당연히 母岩의 岩質, 제조설비 등에 따라 품질이 좌우되므로 충분한 사전조사, 확인이 필요하다.

특히 팝아웃(pop-out), 알카리골재반응과 같은 경우는 母岩에 포함된 유해광물의 영향을 받으므로 전문가의 사전시험판정을 받아 대처해야 한다.

일반적으로 碎石은 하천자갈과 비교해서 각이 지고 표면요철이 많아서 實積率이 적다. 하천자갈콘크리트와 비교해 워커빌리티가 저하하므로 KS F 2527 콘크리트용 부순돌에서는 粒形판정 實積率을 55% 이상으로 규정하고 있다.

碎石콘크리트는 하천자갈콘크리트와 비교해 동일 슬럼프를 얻기위해 單位水量이 약 8% 증가하며, 細骨材率을 1-2% 크게 할 필요가 있

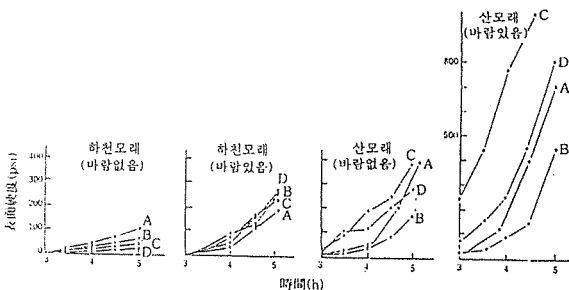


〈그림 4〉 산모래 콘크리트의 건조수축

다. 한편 碎石콘크리트의 강도는 하천자갈의 경우와 비교할 때, 碎石의 표면에서 시멘트페이스트와의 부착이 양호하기 때문에 물시멘트비가 일정한 경우 압축강도가 10-20% 정도 크게 된다. 이 강도의 증가와 單位水量의 증가에 의해 강도저하가 상쇄되기 때문에 가능하다면 단위시멘트량을 변화시키지 않는 것이 좋다.

碎石은 일반적으로 吸水率이 크고 쉽게 균열을 일으키는 경향이 있는데, 이는 물리적으로 불안정하고 기상작용, 동결융해 및 乾濕의 반복작용을 받는 등 내구성이 약한 경향이 있기 때문이다. 따라서 사용경험이 없는 碎石을 사용하는 경우는 안정성 시험 또는 콘크리트의 동결융해시험을 실시하고 확인해 보아야 한다.

碎砂는 KS F 2558에 품질이 규정되어 있으며, 단독으로도 사용이 가능하지만 현재는 다른 모래와 혼합사용을 많이 하고 있다. 최근에는 샌드밀(sand mill)의 성능향상으로 하천모래와 가까운 球形의 것이 생산가능하기는 하지만, 보급에는 아직 시간이 필요하다. 碎砂의 微分은 泥粉과 달리 유해하지는 않고 워커빌리티, 플라스티시티를 좋게 하기 위해 3%이상 함유하는 것이 필요하지만, 잉여로 많은 량을 함유하게 되면 單位水量 증가 등의 문제도 있어 KS에서는 석분 7%이하, 實積率 53%이상으로 규정하고 있다.



〈그림 3〉 표면경도(프록터 관입시험에 따름)

종래 碎砂중에는 석분이라 불리우는 부산물이 사용된 경우가 있지만, 微分量 7% 이하의 규정을 어기는 경우가 많으므로 주의를 요한다. 碎砂를 사용한 콘크리트의 성질은 微分の 함유량에 따라 ①응결, ②강도 ③건조수축, ④내동결 용해성 ⑤AE제, 감수제의 첨가량 ⑥블리딩량 등에 영향을 주기 때문에 주의해야 한다.

3) 海 砂

海砂를 사용하는데 가장 주의할 점은 염분의 함유량이다. 이외에 조개껍질의 혼입 등이 문제가 되는데, 조개껍질은 고동 등 전형적으로 모양을 갖춘 것이 혼입되면 강도저하를 초래하지만, 모래모양의 것은 중량비로 30% 정도 이하라면 강도에 큰 영향을 미치지 않는다.

海砂의 鹽害방지를 위해서는 海砂 채취지에서의 세척이 무엇보다 중요하고 레미콘공장에서의 撒水를 통해 除鹽대책과 공해배수대책을 행하는 등 염분함유량의 체크에 힘써야 한다. 염분함유량의 시험은 KS F 2515의 '골재중의 염화물 함유량 시험방법'이 있지만 간편한 측정기를 이용하여 적절히 체크해 보는 것이 실용적이라고 판단된다.

또 海砂를 세척, 除鹽할 때 미립분(0.15mm 이하)이 부족해지는 경향이 있으므로 粒度조정과 염분함유량의 저감을 겸하기 위해서는 다른 모래와 혼합 사용하는 것도 바람직한 수단이다.

3.4 레미콘 제조기술자에게 주어진 과제

골재의 다종다양성은 점점 증진되어 갈 것으로 예상되고 이와 더불어 콘크리트 품질을 크게 좌우하는 요인의 하나로서 골재의 품질문제는 피할 수 없는 상황이다.

골재의 품질관리를 철저히 하면 콘크리트의 품질변동의 약 50%를 제어할 수 있으므로 근처에 존재하는 골재가 저품질이라 하더라도 기술적 응용(다른 골재와의 혼합사용, 조합·배합의 수정 등)을 통해 유효하게 활용될 수 있으므로

〈표 8〉 세골재중의 염분함유량에 관한 취급 규정

염분함유량	대 응 책
0.04% 이하	대응책이 필요없다.
0.04%를 넘고 0.1% 이하	다음의 (가) 및 (나)에 적합한 것 (가) 물시멘트비 55%이하이고 슬럼프 18cm 이하 또는 50%이하이고 슬럼프 21cm 이하 (나) 적절한 방청제를 사용 또는 슬레브하단부의 피복두께가 3cm이상이고 AE감수제 사용
0.1%를 넘고 0.2% 이하	다음의 (가) (나) 및 (다)에 적합한 것 (가) 물시멘트비 50% 이하이고 슬럼프 18cm이하 (나) 적절한 방청제를 사용 (다) 철근피복두께가 기둥 및 보에서는 4cm 이상, 슬레브하단부에서는 3cm 이상, AE감수제 사용

고려해 보는 것이 바람직하다. 이것은 자원의 유효활용 뿐만 아니라 가까운 곳의 저렴한 골재를 이용하는 것, 게다가 품질과 경제성의 밸런스를 고려한 콘크리트의 생산을 목적으로 하는 것으로 경영자와 함께 노력할 필요가 있다고 볼 수 있다. 그런데 일단 납입된 골재를 시험하여 불합격되었을 경우, 다시 돌려보내는 것은 극히 곤란하므로 간단한 시험 등으로 골재생산현장에서 체크하여 대응하는 것이 좋다.

골재에 요구되는 품질로는 材質, 粒度, 粒形, 유해불순물의 함유량, 함수상태 등을 들 수 있는데, 이 가운데 粒度, 含水狀態는 레미콘공장의 저장설비, 운반설비 등에 의해서도 상당히 변동되기 때문에 레미콘공장에서도 충분히 관리하여야 할 사항이다.

골재粒度에 대하여는 콘크리트에 사용하는 粒度표준은 정해져 있는데, 표준粒度에 맞는 粗骨材를 구입하였다 하더라도 레미콘공장의 믹서에 투입될 때까지 인수, 저장, 운반, 계량 등의 각 과정에서 크고 작은 입자의 분리가 일어나기 쉽다. 그러므로 배척플랜트내의 저장조를 골재粒度別로 나누어 설치하여 粒群마다 粗骨材를 공급·저장하고, 콘크리트의 성능에 적합한 粒

도로 계량시에 합성하는 것이 바람직하나 이러한 경우는 거의 없는 것이 현실이다.

細骨材는 취급과정에서 입자가 분리되는 경우는 많지 않으나 소정의 粒度를 가진 골재를 일률적으로 입수하는 것은 골재사정상 곤란한 편이다. 따라서 레미콘공장에서는 두 가지 이상의 細骨材를 계량시에 혼합하여 소정의 粒度로 맞추거나 사전에 혼합된 細骨材를 사용하는 것이 보편화되어 있는데 비중이 다른 다양한 골재를 소정의 粒度로 합성하기 위해 혼합비율 등을 변화시키면 비중이 변동되는 원인이 되기도 한다.

細骨材의 表面水率은 인수시에 1-10%정도의 변화가 있으므로 레미콘의 생산과정중에 일정시간마다 表面水率을 측정하고 계량수량을 보정하게끔 되어있으나 그렇게 하더라도 시방배합에서 정한 單位水量的 값을 완벽하게 만족시킬 수는 없다.

예를 들어 자동표면수를 보정장치를 이용하여 매 बै치마다 콘크리트의 單位水량을 관리하면 소정의 슬럼프값을 얻을 수 있다고 하지만, 실제로는 그렇지 않는 경우도 많다. 이는 골재저장설비, 저장조중의 수분변화가 커서 बै치마다 변화하는 것 이외에도 다양한 골재의 사용 및 기타 원인에 의해 믹서에 공급되는 골재의 粒度나 粒形이 변화하기 때문에 콘크리트의 워커빌리티가 변화할 때도 있다. 즉, 計量水量的 관리가 이루어진다고 하더라도 콘크리트의 콘시스턴스가 單位水량에만 영향을 받는 것이 아니기 때문이다. 따라서 소정의 粒度와 안정된 表面水率을 가진 골재를 어떻게 공급할 것인가가 과제로 된다. 일반적으로 粗骨材의 表面水率은 헛지봉을 설치한 저장설비를 사용하여 적절한 보관을 한 상태에서는 표면건조포수상태에 가까운 값으로 안정될 수 있으나, 국내에서 이러한 골재저장설비는 매우 드문것이 사실이다.

한편 레미콘공장에서는 골재공급자에게 직접 요구성능을 제시하여 품질이 보증된 제품을 인수하게 되는데, 골재공급자는 제조과정상 품질관리를 하고 시험에 의한 검사를 시행하고 품질

을 보증하게 된다.

細骨材의 吸水率은 측정방법의 특성상 粒形, 粒度, 씻기손실량 등이 그 결과에 영향을 미치며, 이 때문에 吸水率로서 계산된 함수상태는 표면건조포수상태로 정의된 상태와 다른 경우가 있다. 그 이유는 표면수에는 이동이 용이한 自由水와 입자간의 접촉부분에 존재하거나 입자표면에 흡착하여 이동이 제한되어 있는 接觸·吸着水의 존재가 있어 이것이 吸水率·表面水率의 측정값에 영향을 미치기 때문이다.

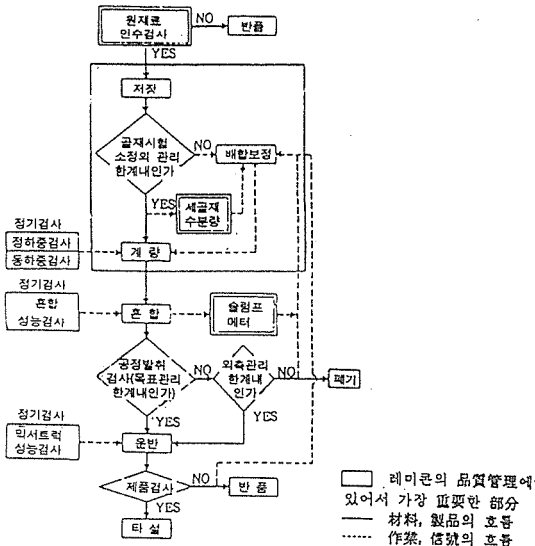
4. 골재의 품질에 따른 레미콘 제조방식의 개선방안

4.1 레미콘 제조에 있어서 품질관리 현황

레미콘의 제조는 다른 제품의 제조공정과 같이 원료를 가공하여 재료를 만들고 다시 이를 가공·조립하여 제품화하는 것과 같은 복잡한 공정이 아니고 단순히 원료를 계량하여 혼합하는 것으로 본래 재료관리를 충분하게 하면 품질관리 그 자체는 고도의 기술이 요구되는 것은 아니다.

현재의 레미콘공장에서 이루어지고 있는 품질관리의 개요는 그림5와 같다. 그림5에서 굵은 선에 둘러싸인 부분은 레미콘의 품질관리에 있어서는 가장 중요한 공정으로 이를 상세하게 다시 표현하면 그림6 및 표9와 같다.

현재의 레미콘공장에서는 이상적인 제조공정으로 A방법을 채택하고 있는 공장은 없으나, 골재생산자의 협력으로 골재의 품질이나 상태가 안정되어 있는 것만을 입수할 수 있는 공장에서는 골재의 상태를 조종하는 설비를 갖고 있지 않더라도 결과적으로는 A방법에 가까운 것이 된다고 하겠다. 그러나 골재의 사용량이 많고 같은 사이즈의 것을 많은 생산자들로부터 입수하지 않으면 안되는 도시지역의 레미콘공장에서는 B방법으로 레미콘을 제조하고 있는 것이 현실이다.



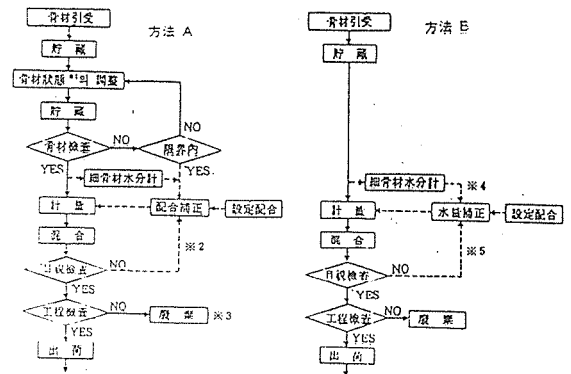
〈그림 5〉 레미콘제조공정에 있어서 품질관리의 개념적 플로우

〈표 9〉 레미콘품질관리 방식의 비교

구분	A방법	B방법
품질 관리 방법	골재의 품질, 상태를 소정의 관리한계내로 컨트롤하여 사용하는 방법	골재를 입하한 상태로 그 품질상태를 컨트롤하지 않고 그대로의 슬럼프, 공기량의 시험결과(목측을 포함)로 부터 수량 및 공기량을 조정하는 방법
조정 항목	(골재) 입도, 실적율, 표면수율, 씻기손실량 (콘크리트) 슬럼프, 공기량	(골재) (콘크리트) 수량, 슬럼프, 공기량
조정 방법	(골재) · 입도, 실적율, 씻기손실량은 체가름, 합성 등으로 조종 · 표면수율은 단수 또는 加水에 의해 조정(조골재를 포함)	(골재) 표면수율의 측정정도 (콘크리트) 빈번하게 슬럼프, 공기량을 확인할 필요가 있음. 강도시험도 A방법보다 빈도를 많이 할 필요가 있음
문제점	· 조골재의 표면수율 자동원격화는 현재로서는 곤란, 그 안정화가 카-포인트 · 공기량의 자동원격측정은 되지않으나 골재의 변동이 적기 때문에 공기량의 변동도 적다.	자동수분계를 설치해도 표면수율 이외의 요인으로 슬럼프가 변화므로 단위수량의 변동은 콘크롤할 수 없다.
	· 단위수량의 변동이 적고	· A방법에 비하여 골재의

특징	<p>압축강도 편차가 적다(그림 6 A참조) 따라서 목표강도를 적게 설정</p> <p>· 골재상태가 안정되어 있으면 슬럼프의 차이만큼 수량만을 보정하는 관리방식도 가능(차이는 표면수율의 측정오차만으로써)</p>	<p>상태가 변동이 크기 때문에 단위수량의 평균치와 변동폭도 커지므로 목표강도도 A방법보다 높게 할 필요가 있다.</p>
----	---	---

주) 자동수분계로 측정하여 리미타임의 배합보정도 가능하나 어느 정도까지는 미리 콘트를 하여 두는 것이 중요하다. 골재가 충분히 관리되고 있어 표면수율의 보정외에 배합의 보정도 필요없이 슬럼프, 공기량의 확인을 때때로 하는 것만으로도 되며, 강도도 1일 1회로 족하다.



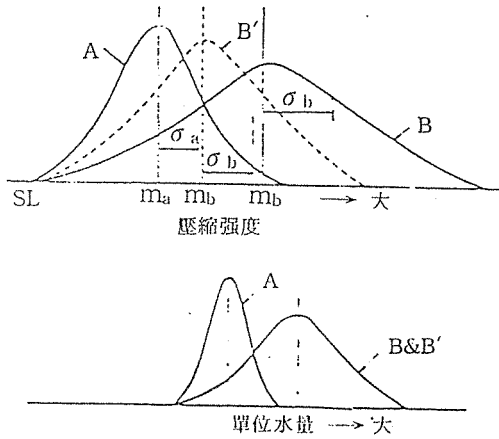
1) 입도, 실적율, 씻기손실량, 표면수율
2) 입도, 실적율, 씻기손실량, 표면수율
3) 입도, 실적율, 씻기손실량, 표면수율
4) 입도, 실적율, 씻기손실량, 표면수율
5) 입도, 실적율, 씻기손실량, 표면수율

〈그림 6〉 레미콘의 품질관리 방식 (골재의 흐름을 주체로 작성)

따라서 이 두 방법 사이에는 그림7의 단위수량에서도 보는 바와 같이 A방법에 비하여 B방법은 골재상태의 변동이 큰 것이 원인이 되어 단위수량의 평균치와 변동폭이 크게 된다. 그 결과, 이 그림의 강도에서도 보는 바와 같이 역시 A방법에 비하여 B방법 쪽이 변동이 커지게 되고, 합격율을 같게 하는 데는 필연적으로 높은 목표강도를 취할 수 밖에 없고, 재료면으로 볼 때 비경제적이 되는 것은 피할 수 없다.

A방법에 의하는 것은 설비의 증설, 용지의 확대 등 많은 투자가 수반된다. 특히 도시지역에 있어서는 공장용지확보, 환경보호대책을 시행하지 않으면 안된다.

이 때문에 방대한 설비투자를 필요로 한다. 그 중에는 기존의 공장이 조업후에 용도지역의 변경 등이 이루어지기도 하여 설비증설이 불가



〈그림 7〉 압축강도 및 단위수량의 변동

능하게 되는 경우도 있으며, 설비의 증설·개선이 쉬지 않은 것이 대다수 레미콘공장이 안고 있는 현실이다.

4.2 골재품질 및 상태의 변동에 대한 대책

골재의 품질 및 상태의 변동에 대한 해결책으로는 다음과 같은 방법을 생각해 볼 수 있다.

- ① 골재센터를 설치하고 많은 생산자들로부터 반입되는 골재를 그 곳에서 일정한 품질·상태로 조정하고, 이를 레미콘공장에서 인수한다.
- ② 레미콘공장에 골재조정설비를 설치한다.
- ③ 골재생산자의 품질관리능력을 높인다.
- ④ 강도의 변동을 적게하기 위해 『물시멘트 관리방식(B' 방법)』을 채택한다.

이중 ①의 방법은 앞에서 설명한 골재품질처리를 위한 유통기지를 설치하는 것으로 가장 바람직한 방법이다. 그러나 도시주변에서의 용지취득, 생산설비, 시험설비, 환경보전대책설비(물처리, 폐기물처리나 분진, 소음, 진동의 방지대책 및 녹화등), 운반차량 등에 대한 투자가 확대되고, 인재(기술자, 작업자, 운전기사) 확보, 그리고 운영경비를 생각하면 골재가격이 대

폭 상승되지 않을 수 없다. 그러나 레미콘 공장에서도 이와같은 조정된 골재와 종래의 골재를 콘크리트 품질등급 차이에 따라 나누어 사용하는 것도 설비증설면에서 무리가 있다.

따라서 어느 쪽의 골재로 콘크리트를 생산할 것인가를 선택하여야 되는데, 고급 콘크리트의 보급율이 적은 경우에는 高價의 골재를 굳이 사용할 필요성이 대두되지 않은다는데 문제점이 있다. 따라서 골재센터와 골재업, 레미콘업, 그리고 건설업을 추가한 공동사업으로 하지 않는 한 쉽게 실현되기는 어려울 것으로 생각된다. 만약 이와같은 골재를 사용한 콘크리트가 고급 콘크리트로서 매력적인 코스트로 유통될 수 있다면 레미콘생산업자 측에서도 의욕적으로 참여하게 될 것이다.

한편 ②의 방법은 품질이나 상태의 변동이 적은 골재로 만들기 위한 조정설비를 갖추는 것인데, 모든 레미콘공장에서 설치하면 바람직하나 현실적으로 곤란하므로 이러한 설비투자가 이루어진 업체에 대하여 인센티브를 주는 방안을 고려하는 것이 현실적이라고 생각된다. 또한 고급 콘크리트가 적정한 가격으로 평가된다면 자연적으로 채택하는 레미콘공장도 많아지게 될 것이다. 그런데 어떻게하든 기준을 만들어 이를 공시하고 실시시기를 명시하여 평가를 하는 과정을 밟게 하더라도, 레미콘 공급자측의 설비개선 기간이 필요하게 되며, 실용화에는 상당한 기간이 필요할 것이다. 그러나 하나의 문제점은 고품질이 필요치 않은 콘크리트까지도 코스트 상승이 일어나는 것이다. 오히려 ①의 경우와 마찬가지로 『좋은 제품은 코스트가 높더라도』하는 콘센서스가 정착된다면 실현이 용이할 것으로 보이나 콘크리트의 코스트 상승은 지금까지의 관행을 살펴볼 때 어려운 문제이다.

③의 방법은 골재생산단계에서 골재품질관리능력을 높이는 것인데, 현재 일부 골재생산공장을 제외하고는 품질관리체계가 체계적으로 정착되어 있지 못한 상태이며, 심지어 粒度시험마저도 제대로 이루어지지 못하고 있는 것이 현실이

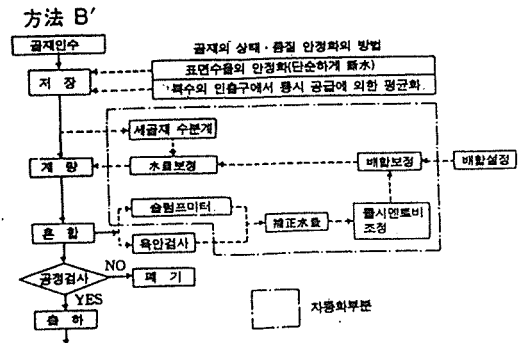
다. 상술한 바와 같이 레미콘공장에서 골재를 인수한 이후로는 골재품질의 조정이 이루어진다는 것은 사실상 어려우므로 골재생산자측의 품질관리능력의 향상을 위하여 골재상태중 적어도 粒度, 實積率, 씻기시험 손실량, 表面水率은 출하전표에 기재할 수 있을 정도까지 개선하는 것이 요망된다.

④의 방법에 대해서는 우선 현재의 레미콘공장에서의 품질관리방식은 單位水量이 변동하더라도 강도는 안전하다는 전제하에 배합을 하고, 공정에서의 슬럼프는 目測, 일부실측, 그리고 공기량은 일부실측결과에 따라서 水量보정, 혼화제 타입의 변경 또는 AE제량의 보정을 하는 전술한 B방법이 채택되고 있다. 이의 개선책으로서 그림8에서 보는 바와 같은 B' 방법을 제안한다.

이것은 자동표면수율측정장치를 갖춰 水量보정을 하더라도 슬럼프가 소정의 값에 일치하지 않을 경우, 이 때의 水量의 과부족 현상을 골재의 상태(表面水率을 제외한 粒度, 實積率, 씻기시험 손실량) 변동의 의한 單位水量의 변동으로 간주하고, 그러한 水量의 과부족에 따라 시멘트량을 증감시켜 물시멘트비를 일정하게 하는 보정이 적절하게 리얼타임(real time)으로 이루어지게 된다면, 그림7에서 보는 바와 같이 單位水量의 평균치나 변동폭이 적어진다. 따라서 그만큼 목표강도를 낮출 수가 있다. 본질적으로는 單位水量의 변동폭을 적게 할 필요가 있으나, 이 B' 방법에서는 單位水量과 시멘트량의 변동사항이 자동기록에 의하여 파악된다.

이와 같은 사항을 고려할 때 콘크리트의 강도 관리는 처음부터 골재관리가 매우 중요하다는 것을 알 수 있으며, A방법의 필요성도 이해가 높아지리라 생각된다. 다만 이 방법의 문제점은 粗骨材의 表面水率 자동측정장치가 없기 때문에 粗骨材의 表面水率 안정화를 시도하지 않는 한 單位水量의 변동폭을 A방법보다 작게 할 수는 없다.

이상의 결과로부터 콘크리트품질향상의 최상



〈그림 8〉 레미콘품질관리의 개선방식(B' 방식)

책으로는 ①, ②가 있으나 당면의 방법으로서 ③, ④의 방법도 상당한 효과를 거둘 수 있을 것으로 생각된다.

4. 2. 3 배합설계에 관해서

레미콘공장에서 배합설계를 할 때, 그것을 확인하기 위해서 시험비빔이 이루어지고 있으나, 이 때 사용되는 골재는 표준상태로 조정된 골재, 예를 들자면 粗骨材는 20~10mm사이로서 물로 씻은 후 완전하게 체가름하여 표준상태로 하고, 粒度는 표준粒度의 중심이 되게끔 합성비율이 정해져 5mm이하의 과소입자는 완전히 제거된 상태에서 이루어지는 경우가 많다. 또한 細骨材는 씻기시험손실량이 적은 것을 대상으로 하고 5mm 이상의 과대입자를 제거한 후 粗·細砂의 합성으로 粗粒率이 2.75 전후가 되게끔 혼합비율이 정해지며, 碎石을 사용하는 경우에는 골재로서 양호한 상태의 粒形判定 實積率의 것이 선택된다. 따라서 조·세골재는 레미콘공장에서 최고의 품질에 가까운 상태에서 콘크리트의 배합치가 된다.

그리고 실제로 사용하는 골재상태의 변동에 근거한 單位水量의 변동때문에 일어나는 강도저하에 의해 호칭강도 이하가 발생하지 않도록 시험비빔에서 얻은 『강도-시멘트물비』의 관계식을 수정하고, 배합목표강도를 구하는 경우에는 그 식을 이용하여 콘크리트시방서의 품질기준에 따

라 할증이 이루어지고 있다.

이러한 배합설계 방식은 강도면에서 충분히 안전을 확보한 배합이 될 수는 있으나, 골재의 품질이나 상태에 대한 배합의 변동(실제의 물시멘트비의 변동)에 대한 인식이 낮은 상태에서 강도관리가 이루어지고 있다고 할 수 있다.

따라서 레미콘공장에서 표본으로 하여야 할 배합은 적어도 과거 수개월간의 골재시험결과의 통계적 평균치에 가까운 상태로 조정된 골재로 시험비율을 하여 單位水量을 결정하고 『강도-시멘트물비』의 관계식도 역시 과거의 실적에서 통계적 추정식을 구하여 이 양자를 근거로 한 배합설계를 하는 것이 바람직하다고 생각한다.

그리고 통상적인 품질관리는 골재상태의 변동폭을 충분히 감안하여 그 정도에 따라 單位水量을 증감시키고, 또한 『강도-시멘트물비 추정식』에 의하여 시멘트량도 증감시키는 관리방법을 채택하는 방법이 필요하다고 본다. 이렇게 하면 보다 합리적인 품질관리를 할 수 있을 것이다.

4.3.3 품질관리체제에 관하여

한편 안정된 품질과 상태의 골재를 인수하고 레미콘공장내에서 表面水率의 안정화를 도모하면, 배합의 보정도 자동수분계에 의한 보정만으로도 충분하며, 상술한 바와 같은 복잡한 보정은 필요치 않게 된다. 그러나 같은 사이즈의 골재라 하더라도 여러 생산자로부터 인수하고 있는 현실하에서는 빈번하게 골재상태에 대한 시험을 통하여 배합을 보정하지 않는 한, 單位水量 및 물시멘트비와 그에 따른 강도 등의 변동폭을 현재보다 적게 하는 것은 어렵다고 생각된다.

그런데 이들 시험항목 가운데 細骨材의 表面水率 측정 이외에 자동원격화된 것은 없다. 또한 細骨材의 表面水率을 자동측정하더라도 품질이나 상태의 변동폭이 큰 細骨材를 하나의 저장빈에 공급하고 있는 경우에는 측정정밀도가 저하된다.

또한 이들 시험은 모두 인력에 의지할 수 밖

에 없다. 하루에 1회나 2회의 表面水率이나 粒度 등의 측정으로 충분한 것은 전술한 A방법에 의한 경우이며, B방법(또는 B' 방법)에 의한 경우에는 변동상황에 따라 상당한 빈도의 시험을 하는 것이 불가피하다.

그러나 현재와 같이 레미콘타설지점에서의 제품검사에 태반의 인력과 시간이 소요되고 있는 현재로서는 그 여력을 만들어 내는 것은 아주 어렵다고 볼 수 있다. 당면의 해결책의 한가지로서 앞서 제시한 ③, ④방법의 병용이 바람직하겠으나, 이것도 粗骨材의 表面水率 자동화는 현재로서는 무리가 있으므로 인력에 의한 측정을 할 수 밖에 없다.

결국 레미콘공장의 품질관리를 향상시키기 위해서는 레미콘타설지점에서의 시험에 투입되는 인력과 시간을 레미콘공장의 공장관리에 되돌리지 않는 한, 현재의 콘크리트품질을 향상시키는 것은 어렵다고 생각된다. 레미콘타설지점에서의 제품검사결과를 레미콘의 품질관리측면에서 볼 때 거의 효과 없다. 공장에서의 품질관리, 즉 생산공정관리를 중시하는 것이야말로 변동이 적은 품질의 콘크리트를 생산하는데 가장 중요한 것으로 사료된다.

5. 결 론

일반적으로 좋은 품질의 콘크리트는 ①양질의 골재를 ②좋은 상태로 콘트롤한 것을 ③정확히 계량하여 ④혼합하므로써 얻어지는 것이나, 양질의 골재는 자원문제로 인하여 좋은 상태로의 콘트롤은 골재생산설비와 규모, 유통과 레미콘공장의 현재 설비면에서 볼 때 용이하게 향상시킬 수 없는 것이 현실이다. 이에 비해 계량·혼합쪽은 설비적으로 충분한 대응을 할 수 있다고 사료된다. 이와같은 상황에서 ②의 강화·개선 은 가장 중요한 사항이다. 그러나 이미 설명한 바와 같이 용이하게 해결을 시도할 수가 없어 차선책으로서 B' 방법과 배합시험방법을 제안하였다.

다음으로 골재자원의 다양화는 필연적이며, 하천골재는 지역적으로 고갈직전의 징조를 보이고 있다. 이와같은 상황하에서는 골재의 품질이나 상태의 컨트롤을 골재생산자에게 요구한다는 것은 불가능에 가까운 것이다. 碎石·碎砂로 이행되는 과도기적 현상으로써 잠정적으로 이와같은 상태는 계속될 것으로 보인다.

碎石·碎砂는 워커빌리티의 저하, 單位水量이 증가하는 마이너스면도 있으나, 방법을 바꾸면 粒度·粒形 등을 가공단계에서 컨트롤 할 수 있다는 점을 고려할 때, 안정된 품질의 골재를 생산하는데 있어서는 천연골재에 비해 유리하다고 본다. 따라서 콘크리트의 품질을 안정화시키기 위해서는 적극적인 병용 또는 전환이 바람직하다고 하겠다.

그러나 현재의 碎石品質基準이 미흡한 편이다. 예를 들면 입형판정 실적율이 55% 이상으로 되어 있으나, 이는 콘크리트를 만드는데 그 정도는 요구된다고 하는 하한값을 제시한 것으로서, 양질의 콘크리트를 만들기 위하여는 적어도 57-58% 정도까지 끌어올릴 필요가 있다.

그외에 粒度구분으로는 20-5mm가 있으나 골재의 분리를 막는 데는 20-10mm와 10-5mm의 2종을 병용하는 것이 요망된다. 碎砂에 대해서도 최대입형 5mm는 제외하여 2.5mm이하로 하는 것이 바람직하다고도 사료된다.

끝으로 콘크리트의 품질을 좋게 하기 위해서는 골재의 품질을 향상시키는 것 이외에 다른 방법이 없다는 인식하에, 골재에 대해 관심을

더욱 높여야 할 것으로 사료된다. 막연히 자원이 부족하다는 인식하에 품질과 상태에 대하여 크레임을 걸지 못하게 되는 상황이 되어서는 안 될 것이며, 또한 건설업체에서 레미콘공장을 평가하는 경우에도 단순히 코스트만이 아니라 어느 정도 골재관리가 되고 있는가를 주시하는 것이 필요하다고 하겠다.

參考文獻

- 1) 村田敦盛, 生コン工場に於ける骨材選定上の留意点について, 月刊生コンクリート, Vol. 3, No. 7, Jul. 1984, pp.14-23.
- 2) 重倉祐光他, 콘크리트用材料의物性, 購買管理, 建設材料研究會, 生コン實務シリーズ 第4券, 技術書院, 昭和58年 4月
- 3) 沼田晋一, 骨材管理方法の改善, 週刊日本コンクリート工業新聞, 1992. 5. 28日字
- 4) 吉兼彦, 레미콘의 品質管理, 韓國레미콘工業協同組合月報, 1993. 6, pp.47-53
- 5) 최민수 외, 레미콘품질관리현황 설문조사 보고, 대한건축학회 학술발표논문집, 1992. 5
- 6) 김재영, 地域別 骨材需給基本計劃 樹立方案, 國土開發研究院, 1993. 10
- 7) 日本建設機械化協會, 骨材の採取と生産, 1988.
- 8) 김무한·최민수, 骨材資源의 供給安定方案에 관한 研究, 大韓建築學會學術發表論文集, 1993. 9, pp.731-734