

## 골재 부산물의 용토재 활용을 위한 특성 분석

양수찬\* · 정영상 · 김동욱<sup>1</sup> · 심규섭<sup>2</sup>

강원대학교 농화학과, <sup>1</sup>(주)에코앤바이오, <sup>2</sup>(주)금강디앤씨

## Physico-Chemical Properties of Aggregate By-Products as Artificial Soil Materials

Su-Chan Yang\*, Yeong-Sang Jung, Dong-Wook Kim<sup>1</sup>, and Gyu-Seop Shim<sup>2</sup>

Department of Agricultural Chemistry, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>1</sup>Eco&Bio Co., Namyangju 472-852, Korea

<sup>2</sup>Kumkang D&C Co., Goseong 219-830, Korea

Physical and chemical properties of the aggregate by-products including sludge and crushed dust samples collected from the 21 private companies throughout the country were analyzed to evaluate possible usage of the by-products as artificial soil materials for plantation. The pH of the materials ranged from 8.0 to 11.0. The organic matter content was 2.85 g kg<sup>-1</sup>, and the total nitrogen content and available phosphate content were low as 0.7 percents and 12.98 mg kg<sup>-1</sup>, respectively. Exchangeable Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, and Na<sup>+</sup> were 2.29, 0.47, 0.02 and 0.05 cmol kg<sup>-1</sup>, respectively. Heavy metal contents were lower than the limits regulated by environmental law of Korea. Textural analysis showed that most of the materials were silt loam with low water holding capacity ranged from 0.67 to 7.41 percents, and with low hydraulic conductivity ranged from 0.4 to 2.8 m s<sup>-1</sup>. Mineralogical analysis showed that the aggregate by product materials were mostly composed of silicate, alumina and ferric oxides except calcium oxide dominant materials derived from limestones. The primary minerals were quartz, feldspars and dolomites derived from granite and granitic gneiss materials. Some samples derived from limestone material showed calcite and graphite together with the above minerals. According to the result, it can be concluded that the materials could be used as the artificial soil material for plantation after proper improvement of the physico-chemical properties and fertility.

**Key words :** Aggregate by-products, artificials soil material, Physical property, Chemical property

### 서 언

골재 부산물이란 콘크리트나 모르타르와 같은 건축 자재로 사용되는 모래나 자갈을 생산한 후 발생하는 부산물로서 슬러지나 석분 등이 해당한다.

2005년 한국골재협회에 등록된 골재생산업체는 총 1,564개 업체로 골재 채취원에 따라 수중, 바다, 산림, 육상, 파쇄, 세척으로 구분 등록되어있다. 골재 업체의 지역적 분포로 서울·경기권에 301개, 강원권에 228개, 충북권에 122개, 대전·충남권에 147개, 전북권에 174개, 광주·전남권에 204개, 대구·경북권에 215개, 부산·경남권에 183개, 제주권에 37개이다(Korean Aggregates Association, 2005).

일반적으로 원암 1 m<sup>3</sup>로부터 부순자갈 1.2 m<sup>3</sup>와 석

분 0.5 m<sup>3</sup>가 생산되며, 석분을 다시 분쇄하게 되면 부순모래 0.4 m<sup>3</sup>와 슬러지 0.1 m<sup>3</sup>가 생산된다. 따라서 석산을 개발하여 골재를 생산할 경우 원암의 10 %는 슬러지로 배출되게 된다. 이 때 배출되는 슬러지는 대부분 매립되거나 야적되고 있으며 일부 농업인에 의해 농토에 사용되고 있어 검증에 대한 민원이 제기되고 있다. 이러한 슬러지는 폐기물관리법상 무기성 폐기물로 지정되어 있으며, 그 처리 방법을 법으로 규정하고 있어 골재 업체에는 폐기물 처리 등록 업체를 통해야하는 경제적 부담과 법에 정한 기일을 넘겨 과태료를 받게 되는 법적 제재의 문제 등을 안고 있다. 나아가서 환경 보전과 자원의 재생산성의 측면에서 고민해야 할 문제라고 판단된다.

아직까지 우리나라에서 골재 부산물의 토양 이용에 따른 구체적 영향이 연구된 바가 없어, 이를 용토재로서 활용하기 위해서는 그 기초특성의 연구가 필요하

접 수 : 2007. 5. 5 수 리 : 2007. 7. 20

\*연락처 : Phone: +82332506444,

E-mail: suchans@kangwon.ac.kr

다. 따라서 골재 부산물의 식재 기반재나, 원예용 상토 및 농경지의 객토 대체제로 활용하는데 가능성을 보고자 이들의 화학성, 물리성 및 광물조성 등의 기초 특성을 파악 하였다.

### 재료 및 방법

**공시 재료** 골재 채취는 Table 1에서와 같이 각 지역 골재협회의 협조를 받아 총 21개 업체에서 채취되었다. 자연 침전을 유도하여 골재 부산물을 처리하는 몇몇 업체를 제외하고는 대부분 필터프레스 성형법으로 처리된 것이다. 필터프레스 성형은 골재 생산시 발생하는 분진이나, 석분을 침수조에 1차 침수시킨 후, 응집제로 입자들을 응집·침전해 필터프레스로 압축·탈수시켜 케익형태로 배출한다. 자연 침전의 경우 물웅덩이에 슬러지 형태로 배출된다. 21개 업체 중 동해 SS사의 경우, 발생하는 골재 부산물은 전량 비료로 재활용된다고 하였는데 이는 원암으로 쓰이는 모재가 석회암으로 석회 비료로 사용이 가능하기 때문이다. 육상 야적의 경우 대부분 자연 침전을 유도하는데, 물에 담겨져 있는 특성상 슬러지에 환원층이 생겨 악취가 나는 곳도 있다. 채취한 골재 부산물은 3일 정도 풍건 시킨 후 2 mm 체로 쳐서 분석에 사용하였다.

**골재 부산물의 화학적 특성** 분석 골재 부산물의 화학성 분석은 농촌진흥청(2000)의 토양 및 식물체 분석법에 준하였다. pH, EC, 유기물 함량, T-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 교환성 양이온(Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), 유해 중금속(Cd, Cr<sup>6+</sup>, Cu, Ni, Zn, Pb, Fe, Mn) 등의 함량을 측정하였다. pH와 EC는 1:5법을 사용하였는데, 각 시료 10 g에 증류수 50 ml를 넣어 30분 동안 진탕한 후, pH는 pH meter(WTW : Model Inolab pH740, Germany)를, EC는 EC meter(Istek : Model 460CP)로 측정하였다. 유기물 함량은 작열감량법에 의하여, 도가니를 105°C에서 한 시간 정도 건조 시킨 후 무게 (a)를 측정하였고 습시료 5 g을 도가니에 넣어 무게 (b)를 측정하였다. 이후 105°C에서 5시간 정도 건조 시킨 후 무게 (c)를 측정하였다. 또한 550°C에서 2시간 정도 강열 시킨 후 무게 (d)를 측정하여 식 (1)을 이용하여 구하였다.

$$\text{유기물 함량(\%)} = \frac{(c-a)-(d-a)}{(c-a)} \times 100 \quad (1)$$

T-N과 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N는 Kjeldahl 분해·증류법에 의하여 측정하였다. T-N는 시료 0.5 g을 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10 mL와 소량의 증류수를 첨가한 후, 분해기(2020 Digestor, Iteator)에서 약 350°C로 분해한 후, 50 mL에 표선하여 10 mL를 취한 다음 증류장치(Kjeltec Auto 2300

**Table 1. Location of the private companies providing the aggregate by product samples.**

Area	Company	Location	Type	By-product process
Gyeonggi (2)	KG	Kwang Ju	Forest	Filter Press
	HC	Ga Pyeong	Up & Low land	Natural Sedimentation
Kangwon (4)	DM	Won Ju	Forest	Filter Press
	SS	Dong Hae	Forest	Filter Press
	CC	Chun Cheon	Forest	Filter Press
	GG	Sok Cho	Forest	Filter Press
Jeolla (7)	YS	Ik San	Forest	Filter Press
	JS	Ik San	Forest	Filter Press
	SI	Ik San	Forest	Filter Press
	KS	Gun San	Forest	Filter Press
	DC	Jeon Ju	Forest	Filter Press
	JH	Jeong Eup	Up & Low land	Natural Sedimentation
	DA	Kwang Ju	Up & Low land	Natural Sedimentation
Gyeongsang (3)	DH	Sung Ju	Forest	Filter Press
	SU	Dae Gu	Up & Low land	Natural Sedimentation
	DE	Chil Gok	Up & Low land	Natural Sedimentation
Chungcheong (5)	SB	Cheong Won	Forest	Filter Press
	SY	Cheong Won	Forest	Filter Press
	KW	Je Cheon	Forest	Filter Press
	JK	Um Seong	Forest	Filter Press
	MJ	Chung Ju	Forest	Filter Press

Analyzer, FOSS tecator, Sweden)로 측정하였다.  $\text{NO}_3^-$ -N과  $\text{NH}_4^+$ -N는 시료 10 g에 2 M KCl 100 mL를 가하여 30분간 진탕한 후 여과시킨 여액을 Kjeldahl 장치를 이용하여 2 % 붕산용액 20 mL를 넣은 것을 수기로 받아내 황산으로 적정하였다. 유효인산(Av.  $\text{P}_2\text{O}_5$ )은 추출액 2 mL와 증류수 5 mL, Ammonium paramolybdate 용액을 가한 후 1 mL의  $\text{SnCl}_2$  희석액을 가한 뒤, 파장 660 nm에서 UV-Visible Spectrophotometer (Shimadzu : UV-2401PC, Japan)로 측정하였다. 교환성 양이온( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ )은 1 N  $\text{NH}_4\text{OAc}$ 로 추출한 후, Atomic Absorption Spectrophotometer (Shimadzu AA-6701F, Japan)로 측정하였다. 양이온교환용량(CEC, Cation Exchange Capacity)은 1 N  $\text{NH}_4\text{OAc}$ 으로 시료를 침출·여과시킨 후 알코올로 세척하고, 시료를 여지와 함께 킬달증류장치로 증류하여 4% 붕산용액으로 받아 0.1 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 로 적정하였다. 유해 중금속( $\text{Cd}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ )은 풍건토 0.5 g을  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10 mL와 소량의 증류수를 첨가한 후, 분해기(2020 Digester, Iteator)에서 약  $350^\circ\text{C}$ 로 분해한 액을 Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer (Perkin Elmer Optima 3100 XL, USA)로 측정하였다.

**골재 부산물의 물리적 특성 분석** 골재 부산물의 물리적 특성 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(2000)에 준하여 입도분석, 액성한계, 점착 및 가소성, 보수력, 투수성 등을 측정하였다. 입도분석은  $25^\circ\text{C}$ 로 조절된 항온 수조에서 비중계법으로 측정되었다. 액성한계는 시료의 적당량을 증류수로 반죽하여 수분함량을 달리한 후, 전동식 액성한계 시험기(HS-132, (주)한신금풍)로 측정하였다. 점착성 및 가소성은 간단한 성형 및 촉감 테스트로 4등급으로 나누어 그 성질이 좋은 것은 A 등급, 약한 것은 B 등급, 매우 약한 것은 C 등급, 없는 것은 D 등급으로 나타냈다. 보수력은 압력침버와 다공질판을 이용해 1/3 기압과 15 기압의 수분함량을 측정한 후, 그 차를 이용하여 유효 수분을 구하였다. 투수성은 시료통에 시료를 물로 포화시킨 후, Darcy의 법칙을 이용한 변수위법으로 측정하였다.

**골재 부산물의 광물 조성 분석** 골재 부산물의 광물 조성 분석을 위해 X선 회절분석, X선 형광분석 및 시차 열분석 등을 하였다. X선 회절분석은 고분해능 X선 회절기(PANalytical, X'pert-pro MPD, Netherlands)를 사용하여 Cu-K $\alpha$  회절선, 40kV-30mA로 Start position  $5.0084(^\circ 2\text{Th})$ , End position  $79.9784(^\circ 2\text{Th})$ , Step size  $0.0170(^\circ 2\text{Th})$ 의 조건으로 측

정하였다. 측정된 강도로 부터 JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standards, 1974 a, b) 데이터 카드로 동정하였다. X선 형광분석은 X선 형광분석기(RIGAKU ZSX100E, JAPAN)를 사용하여 시료를 프레싱한 후 진공상태에서 시료에 X선을 조사하여 발생하는 형광 X선을 보통 분광 결정에 의해 분광시켜 분광된 강도를 검출기로 측정하였다. 시차열분석은 강원대학교 춘천캠퍼스 공동실험실습관에서 시차열 분석기(Differential Thermal Analyzer, TA Instruments, USA)를 사용하여 기준 물질 Allumina powder를 이용해  $800^\circ\text{C}$ 까지 시료와 기준 물질간의 온도차와 강도를 시간에 대해 측정하였다.

## 결과 및 고찰

**골재 부산물의 화학적 특성** pH는 전라도의 JH, DA 업체 등에서 약산성을 띠는 것을 제외 하고는 모든 업체에서 8.4~11.0 범위의 값을 보였다(Table 2). 이는 골재 부산물 처리 공정에서 침수조 등에 부산물의 응집을 유도하기 위해 응집제를 사용하게 되는데 기인한다고 판단된다. EC의 경우, 전체 평균  $167.9 \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 전라도 지역은 대부분  $33.0\sim 122.4 \mu\text{S cm}^{-1}$  정도로 상대적으로 낮은 수치를 보였으나, 경상도 지역은  $169.5\sim 639.0 \mu\text{S cm}^{-1}$  정도로 상대적으로 높은 수치를 나타냈다. 유기물 함량의 경우, 강원도 지역의 GG 업체의  $11.3 \text{ g kg}^{-1}$ 를 제외하고는 대부분 업체에서  $2.9\sim 5.0 \text{ g kg}^{-1}$  수준이었다. T-N의 경우, 0.01~0.11 % 정도이며,  $\text{NH}_4^+$ -N의 경우, 대부분 지역은  $14.0\sim 67.2 \text{ mg kg}^{-1}$  수준이었으나 전라도 지역은  $1.0\sim 3.0 \text{ mg kg}^{-1}$  수준을 보였다.  $\text{NO}_3^-$ -N의 경우, 대부분 지역은  $14.0\sim 67.2 \text{ mg kg}^{-1}$  수준이었으나 전라도 지역은  $1.0\sim 3.2 \text{ mg kg}^{-1}$  수준을 보였다. 유효인산(Av.  $\text{P}_2\text{O}_5$ )의 경우, 최저 값을 보인 강원도 SS 업체의  $10.2 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 최고 값을 보인 전라도 JH 업체의  $24.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 까지 비슷한 수준을 나타냈다.

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  및  $\text{Na}^+$ 의 각 평균은  $2.3 \text{ cmolc kg}^{-1}$ ,  $0.5 \text{ cmolc kg}^{-1}$ ,  $0.02 \text{ cmolc kg}^{-1}$ ,  $0.06 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 이며  $\text{Ca}^{2+}$ 의 경우, 최고 값인 경상도 DE 업체의  $6.4 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 부터 최저 값인 전라도 JH 업체의  $0.7 \text{ cmolc kg}^{-1}$  사이의 범위를 보였다.  $\text{Mg}^{2+}$ 의 경우 최고 값인 전라도 YS 업체의  $1.9 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 부터 최저 값인 충청도 JK 업체의  $0.006 \text{ cmolc kg}^{-1}$  사이의 범위를 보였다.

$\text{K}^+$ 의 경우 최고 값인 경기도 KG 업체의  $0.062 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 부터 최저 값인 충청도 JK 업체의  $0.005 \text{ cmolc kg}^{-1}$  사이의 범위를 보였다.  $\text{Na}^+$ 의 경우 최고 값인 전라도 JS 업체의  $0.120 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 부터 최저 값인 강원도 DM 업체의  $0.015 \text{ cmolc kg}^{-1}$  사이의 범위를 보였다. 양이온교환용량은 평균  $7.6 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 으로

**Table 2. Chemical properties of aggregate by-product.**

Location	Item	pH	EC	O.M.	T-N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
			μS cm <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%	----- mg kg <sup>-1</sup> -----		
Gyeonggi	Max.	8.8	188.1	5.0	0.07	53.2	25.2	14.3
	Min.	8.5	117.0	4.3	0.07	33.6	19.6	11.1
	Ave.	8.7	152.6	4.6	0.07	43.4	22.4	12.7
Kangwon	Max.	8.8	168.4	11.3	0.07	56.0	30.8	12.4
	Min.	8.6	87.3	4.2	0.04	14.0	25.0	10.2
	Ave.	8.8	137.4	6.1	0.05	41.34	27.23	11.1
Jeolla	Max.	8.9	122.4	4.0	0.11	3.2	2.5	24.8
	Min.	6.2	33.0	2.9	0.03	1.0	0.9	10.8
	Ave.	8.0	65.7	3.4	0.07	2.3	1.4	15.5
Gyeongsang	Max.	11.0	639.0	4.6	0.08	56.0	30.8	11.1
	Min.	8.4	169.5	3.7	0.05	30.8	19.6	10.4
	Ave.	9.9	461.8	4.2	0.07	45.7	26.1	10.8
Chungcheong	Max.	9.1	201.2	4.2	0.09	67.2	28.0	15.4
	Min.	8.9	108.7	3.8	0.05	19.6	19.6	11.1
	Ave.	9.0	165.2	4.1	0.07	46.5	24.6	12.5
Ave. of all		8.7	167.9	4.3	0.07	30.4	17.4	13.0
Max. of all		11.0	639.0	11.3	0.11	67.2	30.8	24.8
Min. of all		6.2	33.0	2.9	0.03	1.0	0.9	10.2

경상도에서 17.3 cmole kg<sup>-1</sup>으로 가장 높았으며, 전라도에서 2.2 cmole kg<sup>-1</sup>으로 가장 낮았다.

서두에서 언급한 바와 같이 골재 부산물의 경우 폐기물로 분류되므로 용토재로서 재활용에 앞서 검증이 되어야 할 가장 중요한 항목은 중금속이다. 모든 항목

에서 환경부에서 고시한 농경지 중금속 오염 우려기준을 넘지 않았다(Table 4).

**골재 부산물의 물리적 특성** 경기도, 강원도, 경상도 및 충청도 등에서 평균적으로 모두 모래가 50 %

**Table 3. Exchangeable cations and cation exchangeable capacities of the aggregate by product samples.**

Location	Company	Exchangeable cation				CEC
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						
Gyeonggi	Max.	2.166	0.059	0.062	0.064	6.7
	Min.	1.519	0.032	0.019	0.029	5.9
	Ave.	1.842	0.046	0.041	0.046	6.3
Kangwon	Max.	2.776	0.436	0.037	0.042	8.0
	Min.	2.095	0.026	0.014	0.015	6.0
	Ave.	2.466	0.147	0.025	0.029	7.1
Jeolla	Max.	1.884	1.850	0.027	0.120	12.5
	Min.	0.742	0.389	0.013	0.030	2.2
	Ave.	1.315	1.281	0.018	0.060	6.8
Gyeongsang	Max.	6.385	0.068	0.032	0.115	17.3
	Min.	2.686	0.048	0.022	0.083	7.4
	Ave.	4.608	0.060	0.026	0.097	14.0
Chungcheong	Max.	2.763	0.032	0.013	0.060	7.0
	Min.	1.981	0.004	0.005	0.035	4.9
	Ave.	2.338	0.016	0.010	0.045	5.9
Ave. of all		2.299	0.472	0.021	0.055	7.6
Max. of all		6.385	1.850	0.062	0.115	17.3
Min. of all		0.742	0.004	0.005	0.015	2.2

**Table 4. Heavy metal contents of the aggregate by-product samples.**

Location	Company	Heavy metal contents							
		Cd	Cr <sup>6+</sup>	Cu	Ni	Zn	Pb	Fe	Mn
----- mg kg <sup>-1</sup> -----									
Gyeonggi	Max.	0.008	0.169	0.196	4.870	0.663	0.674	106.400	22.240
	Min.	0.006	0.146	0.177	4.352	0.590	0.356	85.300	10.880
	Ave.	0.007	0.158	0.187	4.611	0.627	0.515	95.850	16.560
Kangwon	Max.	0.008	0.078	0.190	11.980	0.874	0.871	29.620	25.990
	Min.	0.003	0.037	Trace	0.230	0.036	0.008	0.820	0.703
	Ave.	0.006	0.051	0.151	4.012	0.391	0.386	13.807	15.603
Jeolla	Max.	0.024	0.077	0.556	7.978	0.589	0.649	51.800	23.480
	Min.	0.004	0.038	0.161	0.045	0.417	0.238	13.960	6.591
	Ave.	0.008	0.048	0.345	2.785	0.519	0.427	27.449	15.492
Gyeongsang	Max.	0.062	0.071	0.606	4.565	1.477	0.588	39.230	40.230
	Min.	0.004	0.038	0.235	1.846	0.014	0.037	0.805	6.026
	Ave.	0.023	0.050	0.390	2.824	0.660	0.232	13.982	17.785
Chungcheong	Max.	0.017	0.116	1.093	11.100	1.086	1.261	62.360	49.140
	Min.	0.007	0.070	0.563	0.048	0.391	0.185	26.330	14.930
	Ave.	0.011	0.087	0.847	4.107	0.782	0.710	45.820	25.926
Ave. of all		0.011	0.068	0.419	3.51	0.588	0.467	33.815	18.427
Environmental Limits <sup>†</sup> (Agricultural land)		1.5	4.0	50.0	40.0	300.0	100.0	-	-

<sup>†</sup> Ministry of Environment

이하이며 미사가 50 % 이상인 미사질양토(SiL)이며, 전라도의 경우, 평균적으로 양토(L)로 나타났다 (Table 5). 전라도의 YS, JS 및 DA 업체 등에서 미

사질 양토(SiL)인데 비해 SI 업체는 양질사토(LS), KS, DC 업체는 양토(L), 그리고 JH 업체는 사질양토 (SL)였다. 경상도의 경우, SU 업체가 미사질식양토

**Table 5. Textural analysis of the aggregate by product samples.**

Location		Particle size analysis			Texture (USDA)
		Sand	Silt	Clay	
----- % -----					
Gyeonggi	Max.	10.78	76.90	21.50	
	Min.	10.40	67.72	12.70	
	Ave.	10.59	72.31	17.10	SiL
Kangwon	Max.	22.70	72.69	24.00	
	Min.	11.71	53.30	15.60	
	Ave.	16.46	63.96	19.58	SiL
Jeolla	Max.	79.54	58.06	20.80	
	Min.	23.30	14.76	7.20	
	Ave.	44.57	42.32	13.11	L
Gyeongsang	Max.	17.14	66.81	32.70	
	Min.	6.89	59.78	16.50	
	Ave.	10.52	64.32	25.17	SiL
Chungcheong	Max.	24.74	66.82	24.30	
	Min.	8.93	61.36	13.90	
	Ave.	16.16	64.84	19.00	SiL
Ave. of all		24.35	57.80	17.85	
Max. of all		79.54	76.90	32.70	
Min. of all		6.89	14.76	7.20	SiL-L

(SiCL)였으며, 모두 미사질양토(SiL)였다. 입도분석 결과 모래는 평균 24.35 %, 미사는 평균 57.80 %, 그리고 점토는 평균 17.85 % 로 평균적으로 미사질양토(SiL)로 나타났다.

작물이 토양에서 실제로 이용할 수 있는 토양수인 유효수분은 평균 2.58 % 로 사양토의 유효수분인 30 % 와 비교한다면 매우 낮은 수준이다(Table 6). 액성한계의 경우, 최저 값인 전라도 JS 업체의 5.9 % 에서 최고 값인 경상도의 DH 업체의 39.1 % 사이의 값을 보이며 평균 24.4 %로 일반 밭 토양의 액성한계와 유사한 수치를 보였다.

보통 수리전도도가  $10^{-4}$  cm sec<sup>-1</sup> 이상을 투수성이라 하며 자갈이나 모래에서의 수리전도도가 이에 해당되며,  $10^{-4}$  cm sec<sup>-1</sup> 이하를 불투수성이라 하며 실트나 점토의 수리전도도가 이에 해당된다. 골재 부산물의 경우 육안으로도 투수성이 낮을 것이라 판단되었다. 이에 대표 시료로 경기도 KG 업체, 강원도 CC 업체

및 전라도 KS 업체를 대상으로 수리전도도를 측정된 결과, 경기도 KG 업체의 경우,  $2.8 \times 10^{-6}$  m sec<sup>-1</sup>, 강원도 CC 업체의 경우,  $0.4 \times 10^{-6}$  m sec<sup>-1</sup>, 그리고 전라도 KS 업체의 경우,  $1.4 \times 10^{-6}$  m sec<sup>-1</sup> 로 사질 논 의 수리전도도인 1~0.1 m sec<sup>-1</sup> 일 때에 비해 상당히 느린 투수성을 보여준다.

대부분 시료에서 점착성 및 가소성 모두 그 성질이 약하거나 없는 C나 D 등급이었으며, 점착성의 경우, 전라도 DA 업체와 경상도 SU 업체에서 점착성 있는 수준이고, 가소성의 경우, 경기도 KG 업체, 전라도 YS, DA 업체, 경상도 DH 업체에서 가소성이 있는 수준이다.

**골재 부산물의 화학 조성 분석(X선 형광 분석)** 석회암에서 유래한 골재 부산물 이외에는 대부분 시료는 주성분은 SiO<sub>2</sub>이며 그 다음으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등이 대부분을 차지한다. 지각의 산화물 구성은 규산

**Table 6. Water holding capacities and liquid limits of the aggregate by product samples.**

Location		Field capacity	Wilting coefficient	Available Water	Liquid limit
----- % -----					
Gyeonggi	Max.	8.28	4.05	4.23	28.0
	Min.	6.48	3.59	2.90	22.6
	Ave.	7.38	3.82	3.57	25.3
Kangwon	Max.	14.79	11.24	3.80	30.5
	Min.	6.37	6.28	0.09	17.7
	Ave.	10.91	8.43	2.48	24.9
Jeolla	Max.	17.22	12.78	7.41	31.3
	Min.	4.22	3.87	0.35	5.9
	Ave.	9.20	7.08	2.12	18.3
Gyeongsang	Max.	28.65	27.98	6.57	39.1
	Min.	22.72	16.15	0.67	33.2
	Ave.	25.59	22.40	3.19	35.4
Chungcheong	Max.	13.42	8.99	4.43	30.5
	Min.	6.86	4.55	1.38	20.8
	Ave.	9.23	6.68	2.56	25.5
Ave. of all		11.70	9.12	2.58	24.4
Max. of all		28.65	27.98	7.41	39.1
Min. of all		4.22	3.59	0.09	5.9

**Table 7. Hydraulic conductivity of the aggregate by product samples.**

Location	Company	Percolation of time, t	Permeability, k
		sec	m sec <sup>-1</sup>
Gyeonggi	KG	3,622	$2.8 \times 10^{-6}$
Kangwon	CC	43,200	$0.4 \times 10^{-6}$
Jeolla	KS	9,184	$1.4 \times 10^{-6}$
Average		18,669	$1.5 \times 10^{-6}$



**Table 8. Stickiness and plasticity of the aggregate by product samples.**

Location	Company	Stickiness	Plasticity
Gyeonggi	KG	C	B
	HC	C	C
Kangwon	DM	D	C
	SS	D	C
	CC	C	C
	GG	C,D	C
Jeolla	YS	C,D	B
	JS	D	D
	SI	D	D
	KS	C	C
	DC	D	D
	JH	D	D
Gyeongsang	DA	B	B
	DH	C,D	B
	SU	B	C
Chungcheong	DE	D	D
	SB	D	C
	SY	C,D	C
	KW	D	D
	JK	C	C
	MJ	C	C

(Silica, SiO<sub>2</sub>)이 59.08 %, 반토(Alumina, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)가 15.23 %, 석회(Lime, CaO)가 5.10 %, 그리고 산화철 (Ferric oxide, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)이 3.10 % 등이며 총적토의 경우, 규산이 69.0 %, 반토가 11.0 %, 산화철이 11.0 %, 그리고 석회가 2.0 % 등이다(Clarke.). 골재 부산물 시료 중, 강원도의 SS, DM 업체의 SiO<sub>2</sub>의 함량은 30 %이하로 낮은 반면에 CaO의 함량은 45 % 이상으로 높은 수치를 보여준다. 풍화정도 대한 지표로 사용되는 규반비는 1:1 광물 우세토양의 경우 2.36~3.63 정도를 나타내고, 2:1 광물 우세토양은 7 이상으로 비교적 높게 나타나는데, 골재 부산물의 규반비는 1.70~3.42 로 1:1 광물 우세토양과 유사하게 나타났다. 이는 골재 부산물이 화학적 풍화 보다는 원암에서

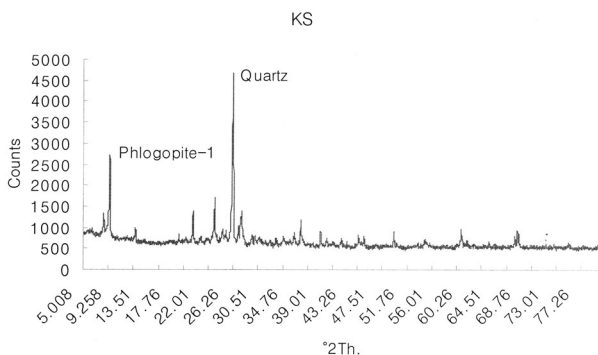
기계적인 파쇄에 의한 단순 입자 크기의 축소로 보이며, 원암 가루, 즉 1차 광물로서 2차 광물이 거의 없기 때문이라 판단된다.

**골재 부산물의 X선 회절 분석** 대부분 시료에서 화강암 또는 화강편마암 지역의 광물 조성을 보였으며, 일부 강원도 지역의 시료에서 석회암 지역 특성의 광물 조성을 보였다. 대표 시료로 선정된 경기도의 KG 업체, 강원도의 DM, CC 업체 및 전라도의 KS 업체에 대해 실험했다. 그림 1과 2는 경기도 KG 업체와 전라도 KS 업체의 골재 부산물 XRD 그래프이다. 두 시료 모두 피크 패턴이 유사하며 화강암이나 화강편마암을 원암으로 함을 알 수 있듯이 석영(Quartz)과 단사녹니석(Clinochlore)이나 금운모(Phlogopite)가 주요 피크이다. 석영은 대부분의 암석에 함유되어 있지만, 특히 화강암, 석영조면암 등의 산성화성암이나 편마암, 결정편암 등의 변성암 등의 주성분으로 되어 있다. 석영은 화학적 풍화에 대한 저항성이 강하기 때문에 다른 광물이 분해된 후에도 그대로 남아 있게 되어 토양 중의 모래의 주요 부분을 차지하고 있다. 이것은 식물의 생육에 있어서 영양분을 주지는 못하지만, 토양의 기초층대의 성분으로서 화학적 성질에 크게 관여한다.

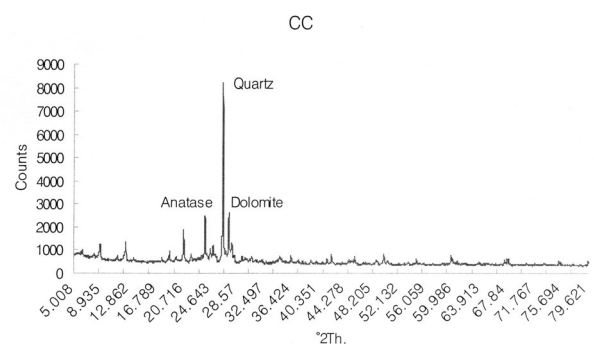
Fig 3은 강원도 CC 업체의 골재 부산물 XRD 그래프로 그림 1, 2와 유사한 피크 패턴을 가지나 백운석(Dolomite) 등이 발견된다. 방해석의 돌로마이트화로 형성되는 백운석은 탄산염 광물로 고회석이라고도 한다.

Fig 4는 강원도 DM 업체의 골재 부산물 XRD 그래프로 석회암을 원암으로 한다는 것을 알 수 있는 방해석(Calcite)과 백운석(Dolomite)이 주요 피크였다.

**골재 부산물의 시차 열분석** 시차 열분석에서는 뚜렷하게 피크 두가지 유형별로 나뉘는데, 첫번째 유형은 열변화 곡선이 안정적이고 주요 천이점이 550°C에서 610°C 부근에 천이를 보이는 것이며, 두번째 유



**Fig. 1. X-ray diffractogram of KS sample.**



**Fig. 2. X-ray diffractogram of CC sample.**

**Table 9. Chemical composition of the aggregate by product samples.**

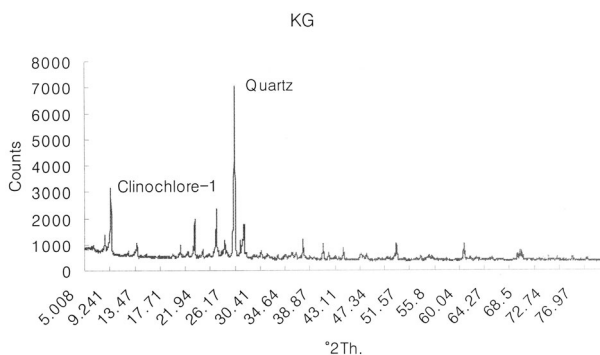
Element Company	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	other	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
----- mass% -----									
KG	63.4	18.7	5.2	4.8	2.4	2.4	0.08	2.9	2.65
HC	57.7	17.7	7.3	6.9	4.5	2.1	0.09	3.7	2.31
DM	26.4	9.9	4.4	2.3	9.7	45.3	0.39	1.5	1.85
SS	14.5	6.0	1.9	1.7	3.7	71.1	0.04	0.9	1.84
CC	66.1	17.1	2.2	5.7	0.9	3.7	0.02	4.2	3.42
GG	59.0	17.0	6.0	6.2	1.8	6.6	0.09	3.4	2.57
YS	62.0	18.7	4.4	5.9	1.7	2.8	0.07	4.3	2.68
JS	64.2	19.5	2.2	6.1	1.0	3.6	0.02	3.4	2.96
SI	62.1	18.4	4.6	7.2	1.6	3.3	0.07	2.8	2.70
KS	55.9	16.9	9.2	5.5	3.0	5.8	0.14	3.6	2.14
DC	60.7	22.2	3.9	6.1	1.4	2.6	0.11	2.9	2.33
JH	60.8	22.6	5.1	4.8	1.8	2.0	0.11	2.7	2.19
DA	55.9	26.9	5.9	4.5	1.8	1.9	0.13	2.9	1.70
DH	66.0	17.7	4.1	4.3	0.9	2.6	0.14	4.2	3.03
SU	53.3	18.5	5.9	4.8	4.9	9.5	0.19	2.8	2.18
DE	51.2	18.9	6.6	3.9	3.5	12.6	0.16	3.1	2.01
SB	60.1	21.5	4.4	6.3	2.3	2.5	0.13	2.9	2.32
SY	55.4	18.3	7.9	4.0	4.6	6.6	0.11	3.1	2.11
KW	64.5	18.8	2.6	5.9	1.2	3.5	0.04	3.6	3.01
JK	58.9	19.6	5.9	4.9	3.5	3.8	0.09	3.2	2.31
MJ	59.2	19.2	5.1	5.1	3.3	4.8	0.07	3.1	2.44
Ave.	56.1	18.3	5.0	5.1	2.8	9.5	0.11	3.1	2.42
Max.	66.1	26.9	9.2	7.2	9.7	71.1	0.39	4.3	3.03
Min.	14.5	6.0	1.9	1.7	0.9	1.9	0.02	0.9	1.70

형은 열변화 곡선이 불안정적이며 여러 천이를 보이는 것이다.

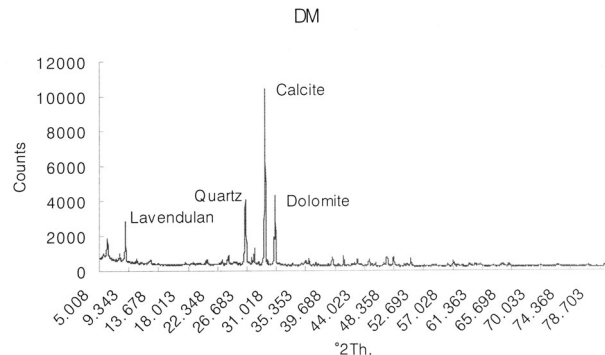
Fig 5와 6은 첫번째 유형으로 573°C 부근에 뚜렷한 천이점을 볼 수 있는데, 이는 석영의 천이점인 것으로 본다. 보통 점토광물 중 카올리나이트의 흡열피크는 약 600°C에서, 발열피크는 약 900°C에서 보이며, 몽모리로나이트의 흡열피크는 약 300°C에서, 발열피크는 약 750~900°C 에서 보이는 등 골재 부산물의 흡·발열피크에서는 유사할 만한 피크를 찾을 수 없었다.

그림 7과 8은 두번째 유형으로 강원도의 DM, CC 업체의 골재 부산물 시차 열곡선이다. DM 업체의 경우, 780°C 부근에서 뚜렷한 피크를 확인 할 수 있는데 방해석의 함량 차이에 따라 약간 틀려지나 이는 주로 방해석으로부터 CO<sub>2</sub> 방출에 의한 것으로 본다. CC 업체의 경우, 600°C 부근에서 미약한 흡열반응 피크는 X선 분석에 의해서 확인된 광물과 비교하여 녹니석에 의한 반응으로 생각된다.

열변화에 따른 시료의 무게 감량 변화를 분석한 열



**Fig. 3. X-ray diffractogram of KG sample.**



**Fig. 4. X-ray diffractogram of DM sample.**



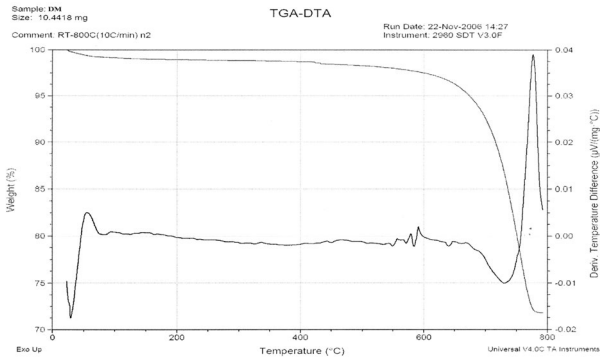


Fig. 5. TGA-DTA thermogram of DM aggregate by-product.

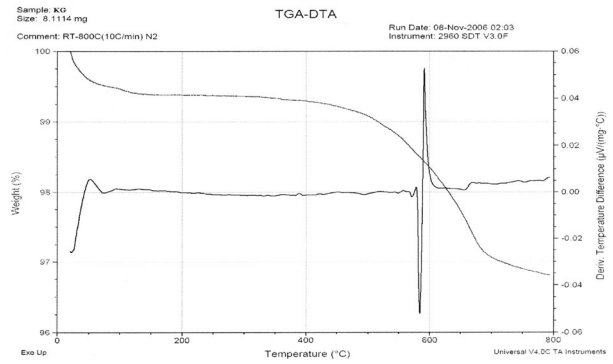


Fig. 6. TGA-DTA thermogram of KG aggregate by-product.

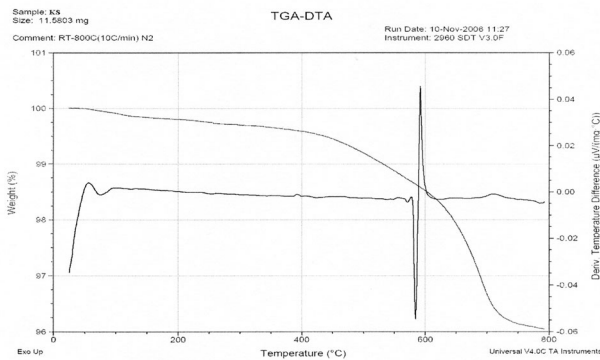


Fig. 7. TGA-DTA thermogram of KS aggregate by-product.

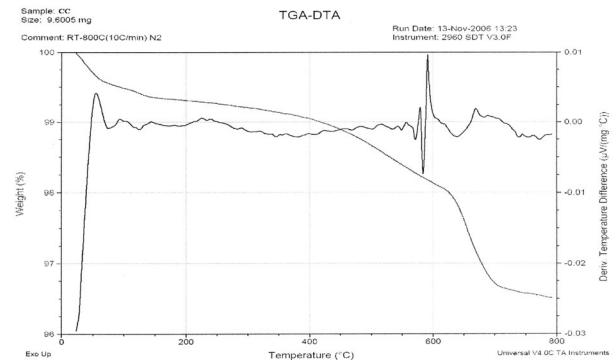


Fig. 8. TGA-DTA thermogram of CC aggregate by-product.

곡선을 보면 화강암이나 화강편마암을 모암으로 하는 시료의 경우는 열변화 곡선이 완만하게 진행되나 석회암을 모암으로 하는 시료의 경우는 700°C 부근에서 급격히 감소되는 것을 확인 할 수 있다. 이 역시 방해석으로부터 CO<sub>2</sub> 방출에 기인한다.

## 적 요

본 연구는 골재 부산물의 용토재로서 활용을 위한 기초 특성 분석으로서 전국 21개소의 골재 업체를 대상으로 골재 생산시 생하는 슬러지나 석분 등 골재 부산물의 화학성과 물리성 및 광물 조성을 알아 보는데 있다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 골재 부산물의 pH는 전라도 지역의 JH, DA 업체를 제외하고 모두 8.41~10.97 정도로 높았으며, EC는 평균 167.9  $\mu\text{S cm}^{-1}$  이고 전라도 지역은 대부분 33.0~122.4  $\mu\text{S cm}^{-1}$  정도로 상대적으로 낮은 수치를 보였으나, 경상도 지역은 169.5~639.0  $\mu\text{S cm}^{-1}$  정도로 상대적으로 높은 수치를 나타냈다.

2. 유기물 함량은 대부분 2.9~5.0 g kg<sup>-1</sup> 이며, 강원도 지역의 GG 업체의 경우 11.27 g kg<sup>-1</sup> 로 상대적으로 높았다. T-N의 경우, 0.01~0.11 % 정도이고 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 경우, 대부분 지역은 14.0~67.2 mg kg<sup>-1</sup> 수준이었으나 전라도 지역은 1.03~3.00 mg kg<sup>-1</sup> 수준을 보였다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 경우, 대부분 지역은 14.0~67.2

mg kg<sup>-1</sup> 수준이었으나 전라도 지역은 1.0~3.2 mg kg<sup>-1</sup> 수준을 보였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 경우, 강원도의 10.2 mg kg<sup>-1</sup> 에서 전라도 24.8 mg kg<sup>-1</sup> 까지 비슷한 수준을 나타냈다. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> 및 Na<sup>+</sup>의 각 평균은 2.299 cmolc kg<sup>-1</sup>, 0.472 cmolc kg<sup>-1</sup>, 0.021 cmolc kg<sup>-1</sup>, 0.055 cmolc kg<sup>-1</sup> 이며 Ca<sup>2+</sup>의 경우, 최고값인 경상도 DE 업체의 6.385 cmolc kg<sup>-1</sup> 부터 최저값인 전라도 JH 업체의 0.742 cmolc kg<sup>-1</sup> 사이의 범위를 보였다. Mg<sup>2+</sup>의 경우 최고값인 전라도 YS 업체의 1.850 cmolc kg<sup>-1</sup> 부터 최저값인 충청도 JK 업체의 0.006 cmolc kg<sup>-1</sup> 사이의 범위를 보였다. 양이온교환용량은 평균 7.6 cmolc kg<sup>-1</sup> 으로 경상도에서 17.3 cmolc kg<sup>-1</sup>으로 가장 높았으며, 전라도에서 2.2 cmolc kg<sup>-1</sup> 으로 가장 낮았다.

3. 중금속 함량은 모든 항목에서 환경부에서 고시한 농경지 오염 우려 기준을 초과하지 않았다. Cd의 경우, 평균 0.011 mg kg<sup>-1</sup> 이며 최저 값인 강원도 DM 업체의 0.003 mg kg<sup>-1</sup> 에서부터 최고 값인 경상도 DH 업체의 0.062 mg kg<sup>-1</sup> 사이의 값을 보였다. Cr<sup>6+</sup>의 경우, 평균 0.068 mg kg<sup>-1</sup> 이며 최저 값인 강원도 DM 업체와 SS 업체의 0.037 mg kg<sup>-1</sup> 에서부터 최고 값인 경기도 KG 업체의 0.169 mg kg<sup>-1</sup> 사이의 값을 보였다. Cu의 경우, 평균 0.419 mg kg<sup>-1</sup> 이며 최저 값인 강원도 DM 업체와 SS 업체의 0.000 mg kg<sup>-1</sup> 에서부터 최고 값인 충청도 SB 업체의 1.072 mg kg<sup>-1</sup> 사

이의 값을 보였다. Ni의 경우, 평균  $3.513 \text{ mg kg}^{-1}$  이며 최저 값인 전라도 DA 업체의  $0.045 \text{ mg kg}^{-1}$  에서부터 최고 값인 강원도 GG 업체의  $11.980 \text{ mg kg}^{-1}$  사이의 값을 보였다. Zn의 경우, 평균  $0.588 \text{ mg kg}^{-1}$  이며 최저 값인 경상도 SU 업체의  $0.014 \text{ mg kg}^{-1}$  에서부터 최고 값인 충청도 SB 업체의  $1.086 \text{ mg kg}^{-1}$  사이의 값을 보였다. Pb의 경우, 평균  $0.467 \text{ mg kg}^{-1}$  이며 최저 값인 강원도 DM 업체의  $0.008 \text{ mg kg}^{-1}$  에서부터 최고 값인 충청도 SB 업체의  $1.261 \text{ mg kg}^{-1}$  사이의 값을 보였다. Fe의 경우, 평균  $33.815 \text{ mg kg}^{-1}$  이며 최저 값인 경상도 SU 업체의  $0.805 \text{ mg kg}^{-1}$  에서부터 최고 값인 경기도 KG 업체의  $106.400 \text{ mg kg}^{-1}$  사이의 값을 보였다. Mn의 경우, 평균  $18.427 \text{ mg kg}^{-1}$  이며 최저 값인 강원도 SS 업체의  $0.703 \text{ mg kg}^{-1}$  에서부터 최고 값인 충청도 SB 업체의  $49.140 \text{ mg kg}^{-1}$  사이의 값을 보였다.

4. 골재 부산물의 토성은 평균적으로 대부분 모래가 50 % 이하이며 미사가 50 % 이상인 미사질양토(SiL)인데 비해 전라도의 경우, 양토(L)였다. 유효수분은 평균 2.58 % 로 매우 낮은 수준이며, 액성한계의 경우, 최저 값인 전라도 JS 업체의 5.9 % 에서 최고 값인 경상도의 DH 업체의 39.1 % 사이의 값을 보이며 평균 24.4 %로 일반 밭 토양의 액성한계와 유사한 수치를 보였다. 대부분 시료에서 점착성 및 가소성 모두 그 성질이 약하거나 없는 C나 D 등급이었다.

5. 골재 부산물의 투수성은 경기도 KG 업체의 경우,  $2.8 \times 10^{-6} \text{ m sec}^{-1}$ , 강원도 CC 업체의 경우,  $0.4 \times 10^{-6} \text{ m sec}^{-1}$ , 그리고 전라도 KS 업체의 경우,  $1.4 \times 10^{-6} \text{ m sec}^{-1}$  로 상당히 느린 투수성을 보여준다.

6. 골재 부산물의 X선 회절분석 결과, 석영(Quartz)과 단사녹니석(Clinochlore)이나 금운모(Phlogopite)가 주요 피크로 대부분 시료에서 화강암 또는 화강편마암 지역의 광물 조성을 보였으며, 강원도 지역의 DM 업체에서 석회암을 모암으로 하는 방해석(Calcite)과 백운석(Dolomite)이 주요 피크였다.

7. 골재 부산물의 화학 조성 분석 결과(X선 형광분석), 대부분 시료는 원암을 화강암이나 화강편마암으로 하고 있기에 대표적인 원소는  $\text{SiO}_2$ 이며 그 다음으로  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 대부분을 차지한다. 강원도의 SS, DM 업체의  $\text{SiO}_2$ 의 함량은 30 %이하로 낮은 반면에 CaO의 함량은 45 % 이상으로 높은 수치를 보여준다. 골재 부산물의 규반비는 1.70~3.42 이며, 이는 골재 부산물이 화학적 풍화 보다는 원암에서 기계적인 파쇄에 의한 단순 입자 크기의 축소로 보이며, 원암 가루, 즉 1차 광물로서 2차 광물이 거의 없기 때문이라 판단된다.

8. 골재 부산물의 시차 열분석 결과, 열변화 곡선이 안정적이며 주요 천이점이  $550^\circ\text{C}$ 에서  $610^\circ\text{C}$  부근에

석영의 천이를 보이는 것과 열변화 곡선이 불안정적이며 여러 천이를 보이는 것으로 나뉘며, 골재 부산물의 경우는 흡·발열피크를 검토할 때 점토광물이 거의 없는 것으로 보인다.

## 사 사

이 연구는 농림기술관리센터의 2005년 농림기술개발연구 지원금(0905001-1-1)으로 수행된 것이다.

## 인 용 문 헌

- Kim, S.J. 2001. Mineral Science. Wooseong  
 Kim, S.J. 1986. Mineral Species in Korea. Minumsa  
 Kim, Y.J. 2002. Application of fine silty soil sourced from the aggregate washing process on manufacture of clay products. Korea Journal of Waste Management :19(2), 133-141  
 Kim, T.S. 1988. Soil Mineralogy. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer:21(S.I), 34-44  
 Kim T.S. 1985. Study on the Clay Minerals in the Basaltic Soil. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer:18(3), 233-239  
 National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Soil and Plants analysis  
 Ryu, S.H. 2000. Soil Dictionary. Seoul National University  
 Moon, H.S. 1996. Clay Mineral Science. Minumsa  
 Um, M.H., H.S. Lim, T.S. Kim. 1992. Genesis and Characteristics of the Soil Clay Derived from Major Parent Rocks in Korea IV. Genesis of Distribution of the Soil Clay Minerals. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer:25(3), 202-212  
 Lee, H.J. 2000. Practical use X-ray Diffraction analysis. Pearson Education Korea  
 Lee, S.E., J.G. Kim, S.K. Lim, Y.S. Ok, Y.S. Choi, N.H. Chung. 2001. Effects of Soil Component and Index ion on the Surface Charge Characteristics of some Korean arable Soils. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer:34(4), 237-244  
 Zhang, Y.S., S.J Jung., S.K. Kim, C.J. Park, Y.T. Jung. 2004. Micromorphological Characteristics of Soil with Different Parent Minerals. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer:37(5), 293-303  
 Jung, Y.S., H.K. Kwak, H.M. Nho, H.M Park, G.B. Son, S.Y. Yoon, Y.T. Jung, J.H. Joo, S.W. Hwang, S.D. Hong, S.G. Ha. 2005. Soil Science. Kangwon National University:73-76  
 Choi D.U., K.S. Hwang, J.S. Shin. 1973. A Study on the X-ray Diffractometry of Rock Minerals. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer:6(4), 199-204  
 Choi D.U., K.S. Hwang, J.S. Shin. Comparison of Microscopic Method with X-ray Diffraction Analysis of Rock Minerals. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer:6(4),253-255  
 Korea Aggregates Association. 2005. Aggregate Picking Work Registration a Register. Korea Aggregates Association  
 Korean Society of Soil Science and Fertilizer. 2001. Soil Fertilizer Glossary. Korean Society of Soil Science and Fertilizer  
 Ministry of Environment. 2002. Soil pollution analysis method :26-

153

- Chris Pellent. 1992. Rocks and minerals. Dorling Kindersley:pp256
- Dixon, J. B, and S. B. Weed. 1977. Minerals in the soil environments. Soil Sic. Soc. Am. Medison, Wisconsin
- Hausenbuiller, R. L. 1985. Soil Science, 3rd ed.. Wm. C. Brown Publisher, Dubuque, Iowa.
- Jeong, G. Y., H. I Yoon. The Origin of Clay Minerals in King George Island, South Shetland Island, West Antarctica and its Implication to the Clay Mineral Compositions of marine Sediments.
- Johnson, L. J. 1970. Clay minerals in Pennsylvania soils relation to

- lithology of the parent rock and other factor. Clays Clay Miner. 18:247-260
- Joint Committee on Powder Diffraction Standards. 1974. Selected Powder diffraction sata for minerals, Search Mineral. Publication.
- Miller, R. W., D. T. Gardner. 2001. Soils in our environment. Prentice Hall:pp642
- Soil Science Society of America. 1977. Minerals in soil Environment:771-795