

## 석탄회를 재활용한 '셀카시'의 토양 개량과 골프 코스 잔디 생육에 대한 효과

이상재 · 하근영<sup>1</sup> · 정운익<sup>1</sup>

(주)용평 리조트 용평 골프 클럽 고문, <sup>1</sup>레인보우스케이프(주) 부설 환경생태연구소

### Effect of 'CellCaSi' recycling Coal Fly Ash on Soil Amendment and the growth of Turfgrass in Golf Course

Lee, Sang-Jae · Huh, Keun-Young<sup>1</sup> · Jung, Woon-Ik<sup>1</sup>

Yong-Pyong Resort Co., Ltd., Golf Course Advisor

<sup>1</sup>Rainbowscape Co., Ltd., Environmental & Ecological Institute

#### ABSTRACT

The objective of this study was to improve the recycling rate of coal ash fly, industrial waste. This study was conducted to analyze the physico-chemical properties of 'CellCaSi' and clarify the effects on the growth of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.) and creeping bentgrass(*Agrostis paulstris* Huds 'Penncross') and the chemical properties of soil, which was cellular calcium silicate reproduced by coal ash fly. A field assay was carried out in Young-Pyong Golf Course. The results were as follows.

1. The main chemical composition of CellCaSi was SiO<sub>2</sub>(45~55%) and CaO(25~35), which was 70~90% of total weight. CellCaSi showed pH 8~9. Bulk density of CellCaSi was 0.35~0.45g/cm<sup>3</sup>. Water content of CellCaSi was 52.5~67.5%.
2. In the applied plots, leaf width, grass density per 1cm<sup>2</sup>, rhizome number and length per plant, and root number per plant of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.) and creeping bentgrass(*Agrostis paulstris* Huds 'Penncross') showed increasing tendency compared with the control. The application of CellCaSi increased the growth of turfgrasses. Their visual quality on hardness, grass shoot density per 1cm<sup>2</sup> and root growth was very good. And, their visual quality on rhizome growth was good.
3. After the application of CellCaSi, pH, CEC, Ex-cation of the applied soil showed increasing tendency with the little range, SiO<sub>2</sub> content increasing tendency considerably, and organic matter content decreasing tendency compared with the control.

**Key words:** coal fly ash, recycling, industrial waste, CellCaSi, SiO<sub>2</sub>, CaO

## 서 론

1996년 기준으로 국내에서 발생하는 폐기물은 연간 약 5,300만톤에 이르며, 현재 이것의 처리는 주로 매립에 의존하고 있다. 이중에서 소결, 용융 등 용업공정을 적용하거나 시멘트 등에 혼합하여 재활용될 수 있는 것으로 기대되는 광재, 모래류, 오너류는 연간 약 2,000만톤 이상이다(현, 1999). 그리고 이런 종류 중에서 석탄회는 1996년을 기준으로 292만톤에 이르고 있으며 지속적인 에너지 공급에 따른 석탄화력발전소의 건립으로 인해 향후 석탄회는 2005년까지 570만톤에 이를 것으로 추정되고 있다. 현재 대부분의 석탄회는 매립되고 있는 실정인 바, 장차 회처리장의 입지확보의 어려움과 환경 보호 차원에서 야기될 문제의 가능성은 재론할 필요가 없다. 석탄회의 재활용은 fly ash를 이용한 시멘트, 레미콘 분야로 한정되며 발생된 292만 톤의 석탄회 중에서 64만 톤을 재활용함으로써 약 22%를 재활용하고 있지만, 미국과 캐나다는 30%, 일본은 50%, 유럽은 60%에 달하고 있다(김 등, 1996; 한국전력공사 기술연구원, 1990). 정부는 1998년부터 석탄회 재활용률을 회생산량의 35%, 2005년에는 50%로 책정하고 있으나(한국전력공사 기술연구원, 1992), 아직까지 국내 소수의 회사만이 석탄회 재활용에 관계하고 있으며, 기존 수요시장 또한 극히 제한되어 있어 장차 급증할 석탄회를 소화하기 위해서는 획기적인 시장개척이 절실하다.

석탄회는 석탄을 연소시킨 결과 발생되는 회(재)를 말하며, Ash를 집진하는 장소에 따라 Fly Ash, Bottom Ash, Cinder Ash로 구분된다(Cope, 1964). 이중에 Fly Ash는 절단기나 공기예열기 아래 Hopper, 전기집진기에 의하여 집진되어 집진기 하부 Hopper에 모이는 Ash를 말하며, 절단기나 공기 예열기 아래에 있는 Hopper에 모이는 Ash의 입경은 0.3~1.0mm로

발생회의 약 5%이다. 전기집진기에 의해서 집진되어 집진기 하부 Hopper에 모이는 Ash의 입경은 탄종이나 연소 조건에 따라 다르나 발생 회의 75~80% 정도로서 대부분이 Fly Ash가 재활용되고 있으며, 재활용을 위하여 공기 이송 설비에 의해 Fly Ash Silo로 전식 이송된다. 재활용되지 않은 Fly Ash는 Bottom Ash와 마찬가지로 Transfer Tank로 보내지고 Ash Pond장에 버려진다.

석탄회의 3 주성분들은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  및  $\text{CaO}$ , mulite, quartz 및 유리상(약 20~25wt%)의 결정상을 함유하고 있고, 1000°C까지는 거의 변화가 없다(김 등, 1995). 김(1995)은 석탄회를 성토재료로 활용시 침출 시간경과에 따른 석탄회 침출수의 성분 및 농도변화 특성을 파악함으로써 주변환경에 미치는 영향을 평가하기 위해 비회 및 혼합회를 대상으로 한 연속식 용출시험과 회분식 용출시험을 수행한 결과를 수질기준과 비교·검토한 결과, 대상 석탄회는 일반 폐기물로 분류되었으며, 석탄회 침출수의 농도는 시간경과에 따라 급격히 감소하여 일정 시간 경과 후에는 극히 미미하게 나타났다. 또한 대상 석탄회 침출수의 수질은 pH를 제외한 기타 성분들이 모두 음용수 수질기준과 폐수 배출 허용기준을 만족하는 것으로 나타났다. 구 등(1992)은 잔디재배를 위한 잔디상토 조성재료로 모래, 제지스렁지, 연탄재의 적정혼합 비율과 이들의 비료 대체 효과와 토양개량 효과를 밝혀 폐기물의 효과적인 이용을 도모하고자 실험을 수행한 결과에서, 연탄재는 K, P, Ca 및 Mg의 함량이 높고 pH 8.0의 약알칼리성으로서 상토의 가비중과 포장용수량을 높이고 투수성을 감소시키며, EC와 잔디 생육 후 토양의 경도를 감소시키는 것으로 나타났다. 그리고, 하 등(1996)은 매년 180만톤 이상 화력발전소에서 생성되는 석탄회(炭)와 비료회사에서 복합 비료제조시 부산물로 연간 230만톤의 석고, 그

리고 남해 굴양식장에서 생성되는 연간 20만톤의 폐각을 토양개량과 작물생산을 목적으로 이용하기 위해서 1995~96년(2년간) 4개 작물(배추, 밤, 단감, 마늘)에 대한 시험결과에서 석탄회 사용으로 토양의 pH가 현저히 상승하였으며, 토양내 유효인산의 함량이 현저히 증가되었고, 치환성 염기가 현저히 증가되었으며(특히 석회, 칼리함량이 증가되었음), 봉소함량이 현저히 증가되었고, 4개 작물에서 증수 효과를 나타냈다고 보고하였다.

위에서 언급한 것을 포함한 많은 선행 연구를 고려해 볼 때, 국내에서 상당 부분이 폐기물로 매립되고 있는 석탄회는 완전히 소토된 물질이며 여러 가지 유효한 무기성분을 함유하고 있어서 활용가능성이 매우 높고, 다방면의 유효 이용기술의 개발로 석탄회를 자원화시킬 필요성은 재론의 여지가 없다고 본다(박 등, 1991). 본 연구는 산업 폐기물인 석탄회 재활용률의 확대를 위한 연구의 일환으로써 석탄회를 재활용한 '셀카시(CellCaSi)'의 이화학적 특성을 분석하고 캔터키 블루그래스(*Poa pratensis L.*)와 크리핑 밴트그래스(*Agrostis paulstris Huds* 'Penncross')의 생육과 토양의 화학성에 대한 그 효과를 구명하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

공시재료는 석탄회를 재활용한 다공성 규산 칼슘계 화합물(Cellular Calcium Silicate)로서, 그 명칭을 '셀카시(CellCaSi)'로 명명하였다. 셀카시는 주재료인 석탄회(60~70%)에 생석회, 부산석고 등을 혼합(Slurry)하고, 발포, 예비양생, Autoclaving, 그리고 파쇄 과정을 거쳐 제조된 것이다.

공시재료의 화학성분은 농촌진흥청 비료 분석 방법에 준하여 다음과 같이 수행하였다. 150°C에 건조한 시료 1g을 평량하여 백금도가

니에 넣고 800°C에 작열한 후 용융제( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )와 혼합 800°C 전기로에서 용융시켰으며 진한 염산과 과염소산을 넣어 증발 건조하였다. 증발 건조된 시료는  $\text{SiO}_2$ , 여과한 여액은 나머지 성분분석에 이용하였으며 분석방법은  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 은 중량법,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 은 원자흡광 분석기로 측정하였다. pH는 토양:증류수(1:5)로 하여 유리막대로 30분간 간간이 저으며 방치 후 초자전극으로 측정하였다. 건조시 용적밀도는 건조기에서 건조한 시료의 단위 용적당 중량으로 산출하였다. 수분 흡수량은 48시간 동안 물로 포화시키고 48시간 동안 자연배수시켰을 때의 수분량으로 산출하였다.

공시재료의 비효분석은 용평 리조트 용평 골프 클럽의 #9 Fairway와 #17 양묘장에서 1999년 5월 31일부터 10월 4일까지 수행하였다. 용평 골프 클럽이 위치한 대관령 지역의 연평균 기온은 7.0°C이고, 연중 강우량은 2992.5mm이며, 6월 136.3mm, 7월 159.2mm, 8월 523.9mm, 9월 598.6mm, 10월 129.0mm의 강우량을 나타냈다. 골프 코스의 잔디 관리는 국내 골프코스의 일반적인 관리방법과 유사한 수준으로 관리되고 있었다. 구체적인 실험방법은 다음과 같이 수행되었다. 처리구는 셀카시 처리구와 무처리구로 구분하고, 잔디품종은 #9 Fairway의 캔터키 블루그래스(Kentucky bluegrass, *Poa pratensis L.*)와 #17 양묘장의 크리핑 밴트그래스(creeping bentgrass, *Agrostis paulstris Huds* 'Penncross')이며, 처리구의 크기는 1m × 1m이고, 5회 반복으로 실험을 수행하였다(2처리 × 2잔디품종 × 5처리반복). 공시 재료의 사용(처리회수)은 1999년 5월 31일에 1차 사용하였으며, 9월 9일에 2차 사용하였고, 추비 사용과 같은 방법으로 공시재료를  $400\text{g/m}^2$  사용하였다. 잔디의 생육조사는 1주일 간격으로 각 처리구에서 10개의 식물체에 대하여 엽폭,  $1\text{cm}^2$  당 잔디 신초 밀도, 개체 당 지하경수, 개체 당 지하

경길이 그리고 개체 당 뿌리수를 측정하였다. 통계처리는 Duncan's multiple range test(유의수준, 5%)로 하였다. 그리고, 견고성, 잔디 신초 밀도, 지하경 생육, 색상, 회복력, 뿌리발육, 질감, 균일성에 대해서 시각 척도(visual quality)를 측정하였다(Wood et al., 1994). 시각 척도(visual quality)는 5점 척도로 구분하여 조사하였으며, 1은 불량(unacceptable)이고 5는 우수(excellent)로 하였다.

시험후 토양의 화학분석을 수행하였다. 잔디지의 표토 15cm 토양을 잔디와 함께 채취하는 방법으로 각 3점을 채취하였고, 접당 샘플량은 500g으로 하였다. 분석항목은 pH, 유기물 함량(OM), 양이온치환용량(CEC), 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량, 그리고 치환성 염기함량(K, Ca, Mg)이며, pH와  $\text{SiO}_2$ 는 선행연구방법과 동일하게 수행하였고, 유기물을 함량(OM)은 Walkley-Black method-1N Potassium dichromate,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 로 유기물을 산화시킨 후  $\text{FeSO}_4$ 로 적정한 후에 유기탄소량×1.724로 산출하였으며, 양이온 치환용량(CEC)은 1N Ammonium acetate(pH 7.0), Alcohol, 10% NaCl로 차례로 침출후 증류, 적정하여 분석하였고, 치환성 염기함량(K, Ca, Mg)은 1N Ammonium acetate로 침출후 AAS(SHIMADZU AA-6501F)로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 셀카시의 이화학적 특성

골프 코스 잔디는 젖은 예지, 낮은 예지고, 집중 담압 및 다량의 질소시비에 의해 토양의 이화학성이 악화되어 많은 스트레스와 생육장애를 받게 된다. 이러한 악조건을 개선할 수 있는 한 방법으로서 규산질 비료의 사용을 들 수 있다. 규산질 비료의 사용은 산성토양 개량, 규소

공급에 의한 병해충과 담압 등의 기계적인 장해에 대한 저항성 증대에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 셀카시는 규산( $\text{SiO}_2$ )과 석회( $\text{CaO}$ )가 주요 화학성분으로 총 중량의 70~90%를 차지하며, 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량이 50% 정도로 일반 광재 규산질 비료에 비하여 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량이 높고, 석회( $\text{CaO}$ ) 함량이 30% 정도로 나타났다(Table 1). 또한 pH는 8~9로 알칼리성으로 나타났다(Table 2). 따라서 셀카시는 일반 광재 규산질 비료와 같이 산성토양 개량, 규소공급에 의한 병해충과 담압 등의 기계적인 장해에 대한 저항성 증대에 효과가 있는 것으로 사료되었다. 그리고 셀카시는 다공성으로 용적밀도가  $0.35\sim0.45\text{g/cm}^3$ 으로 일반 토양의 용적밀도뿐만 아니라 석탄회의 용적밀도( $0.8\text{g/cm}^3$ )와 비교해서도 상당히 경량화되어 있고, 수분흡수량이 52.5~67.5%로 일반토양에 비해 수분흡수량이 12~27% 정도 높게 나타났다(Table 2). 따라서 작업성이 우수하고 토양의 물리성을 개량하는 효과가 있다고 사료되었다.

Table 1. Chemical composition of CellCaSi

Composition	Content(wt., %)	Note
$\text{SiO}_2$	45~55	chemical composition mineral SiO <sub>2</sub> nutrient $\text{SiO}_2$ 15% $\text{CaO}$ 55% $\text{MgO}$ 2%
$\text{CaO}$	25~35	
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3~4	
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1~2	
$\text{MgO}$	1~2	
$\text{K}_2\text{O}$	0.5~1.0	
Ig. Loss	7~13	
Others	4~5	

Table 2. pH, bulk density, and water content of CellCaSi

Material	pH(1:5)	Bulk Density ( $\text{g/cm}^3$ )	Water Content (%)
CellCaSi	8~9	$0.35\sim0.45$	52.5~67.5

### 골프 코스 잔디 생육에 대한 셀카시의 비효 특성

1999년 5월 31일에 셀카시 1차 사용 후, 캔터키 블루그래스의 엽폭은 2주가 경과하면서 처리구와 무처리구간에 유의차를 나타냈고, 지속적으로 7월 12일까지 통계적 유의차를 나타냈다. 그리고 9월 9일에 셀카시 2차 사용 후, 처리구와 무처리구간에 9월 27일부터 10월 4일까지 통계적 유의차를 나타냈다(Table 3). 즉, 셀카시 처리구는 무처리구에 비하여 캔터키 블루그래스의 엽폭을 0.2~0.6mm 정도 증가시키는 것으로 나타났으며, 가을철과 비교하여 여름철에 그 효과가 더욱더 뚜렷하게 나타나는 것으로 보였다. 그러나 크리핑 밴트그래스의 엽폭은 처리구와 무처리구간에 통계적 유의차를 나타내지 않았다(Table 4). 이것은 크리핑 밴트그래스가 세엽으로 엽폭이 매우 좁아서 유의차를 구별하기 힘들기 때문이라고 사료되었다.

셀카시 1차 사용 후, 캔터키 블루그래스의 1cm<sup>2</sup> 당 잔디 신초 밀도는 6월 21일, 7월 5일, 7월 12일에 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차가 나타났고, 셀카시 2차 사용 후에는 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차는 나타나지 않았다(Table 5). 그러나, 전체적으로 셀카시 처리구는 무처리구에 비하여 캔터키 블루그래스의 1cm<sup>2</sup> 당 잔디 신초 밀도를 1~3 정도 증가시키는 것으로 사료되었다. 셀카시 1차 사용 후, 크리핑 밴트그래스의 1cm<sup>2</sup> 당 잔디 신초 밀도는 6월 14일과 7월 12일을 제외한 모든 조사시기에서 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타냈다(Table 6). 즉, 캔터키 블루그래스의 1cm<sup>2</sup> 당 잔디 신초 밀도에서 나타난 결과와 일관성 있게 셀카시 처리구는 무처리구에 비하여 크리핑 밴트그래스의 1cm<sup>2</sup> 당 잔디 신초 밀도를 1~3 정도 증가시키는 것으로 나타

**Table 3.** The leaf width of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.) in each treatment

Treatment	Month/Day	Leaf Width(mm)							
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	9/27	10/4
Kentucky bluegrass	Control	2.0a <sup>z</sup>	1.9b	1.9b	2.0b	1.9b	2.0a	2.0b	1.8b
	CellCaSi	2.3a	2.4a	2.5a	2.3a	2.3a	2.2a	2.3a	2.2a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

**Table 4.** The leaf width of Creeping bentgrass(*Agrostis paulstris* Huds 'Penncross') in each treatment

Treatment	Month/Day	Leaf Width(mm)							
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	9/27	10/4
Creeping bentgrass	Control	1.6a <sup>z</sup>	1.5a	1.6a	1.6a	1.5a	1.6a	1.5a	1.4a
	CellCaSi	1.6a	1.6a	1.6a	1.5a	1.6a	1.6a	1.5a	1.5a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

**Table 5.** The grass shoot density per 1cm<sup>2</sup> of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.) in each treatment

Treatment	Month/Day	Grass Shoot Density per 1cm <sup>2</sup>							
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	9/27	10/4
Kentucky bluegrass	Control	14a <sup>z</sup>	12b	13a	13b	12b	13a	14a	13a
	CellCaSi	15a	15a	14a	15a	14a	14a	15a	14a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

**Table 6.** The grass shoot density per 1cm<sup>2</sup> of Creeping bentgrass(*Agrostis paulstris* Huds 'Penncross') in each treatment

Treatment	Month/Day	Grass Shoot Density per 1cm <sup>2</sup>							
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	9/27	10/4
Creeping bentgrass	Control	13b <sup>z</sup>	14a	13b	15b	14a	13b	14b	13b
	CellCaSi	15a	16a	16a	17a	15a	15a	16a	15a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

났다.

셀카시 1차 사용 후, 캔터키 블루그래스의 개체 당 지하경수는 7월 12일을 제외한 모든 조사시기에서 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타내지 않았고, 셀카시 2차 사용후에도 통계적 유의차를 나타내지 않았다(Table 7). 그러나, 전체적으로 셀카시 처리구는 무처리구와 비교하여 캔터키 블루그래스의 개체 당 지하경수를 증가시키는 경향을 나타냈다. 셀카시 1차 사용 후, 크리핑 벤트그래스의 개체 당 지하경수는 6월 21일을 제외한 모든 조사시기에서 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타냈지 않았고, 셀카시 2차 사용후에도 통계적 유의차를 나타내지 않았다(Table 8). 그러나, 전체적으로 캔터키 블루그래스에서 나타난 결

과와 일관성 있게 셀카시 처리구에 비하여 크리핑 벤트그래스의 개체 당 지하경수를 증가시키는 경향을 나타냈다.

셀카시 1차 사용 후, 캔터키 블루그래스의 개체 당 지하경 길이는 6월 14일, 6월 21일, 6월 28일, 7월 5일에서 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타냈고, 셀카시 2차 사용 후에는 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타내지 않았다(Table 9). 전체적으로 셀카시 처리구는 무처리구와 비교하여 캔터키 블루그래스의 개체 당 지하경 길이를 증가시키는 것으로 나타났고, 특히 여름철에는 셀카시 처리구에서 캔터키 블루그래스의 개체 당 지하경 길이를 0.4~0.5mm 정도 증가시키는 것으로 나타났다. 셀카시 1차 사용 후, 크리핑 벤트그래스

**Table 7.** The rhizome number per plant of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.) in each treatment

Treatment	Month/Day	Rhizome Number per plant							
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	9/27	10/4
Kentucky bluegrass	Control	3a <sup>z</sup>	2a	2a	2a	2b	2a	2a	2a
	CellCaSi	4a	4a	3a	3a	4a	3a	3a	3a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

**Table 8.** The rhizome number per plant of Creeping bentgrass(*Agrostis paulstris* Huds 'Penncross') in each treatment

Treatment	Month/Day	Rhizome Number per plant							
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	9/27	10/4
Creeping bentgrass	Control	3a <sup>z</sup>	2b	3a	3a	3a	4a	3a	3a
	CellCaSi	5a	5a	4a	3a	5a	4a	4a	4a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 9. The rhizome length per plant of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis L.*) in each treatment

Treatment	Month/Day	Rhizome Length per plant(cm)						
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	10/4
Kentucky bluegrass	Control	3.5b <sup>z</sup>	3.6b	3.4b	3.3b	3.6a	3.5a	3.6a
	CellCaSi	4.0a	4.1a	3.9a	3.8a	4.0a	3.6a	3.8a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

의 개체 당 지하경 길이는 6월 14일, 6월 21일, 6월 28일에서 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타냈고, 셀카시 2차 사용 후에는 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타내지 않았다(Table 10). 전체적으로 캔터키 블루그래스에서 나타난 결과와 일관성 있게 처리구는 무처리구와 비교하여 개체 당 지하경 길이를 0.3~0.5mm 정도 증가시키는 경향을 나타냈다(Table 10).

캔터키 블루그래스의 개체 당 뿌리수는 모든

조사시기에서 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타냈지 않았다(Table 11). 그러나, 전체적으로 셀카시 처리구는 무처리구에 비하여 캔터키 블루그래스의 개체 당 뿌리수를 증가시키는 경향을 나타냈다. 크리핑 벤틴그래스의 개체 당 뿌리수도 모든 조사시기에서 처리구와 무처리구간의 통계적 유의차를 나타냈지 않았다(Table 12). 그러나, 전체적으로 캔터키 블루그래스에서 나타난 결과와 일관성 있게 셀카시 처리구는 무처리구와 비교하여 크리핑 벤

Table 10. The rhizome length per plant of Creeping bentgrass(*Agrostis paulstris Huds 'Penncross'*) in each treatment

Treatment	Month/Day	Rhizome Length per plant(cm)						
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	10/4
Creeping bentgrass	Control	2.7b <sup>z</sup>	2.5b	2.7b	3.0a	2.8a	2.7a	2.7a
	CellCaSi	3.2a	3.0a	3.2a	3.3a	3.1a	3.0a	3.0a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 11. The root number per plant of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis L.*) in each treatment

Treatment	Month/Day	Root Number per plant						
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	10/4
Kentucky bluegrass	Control	3a <sup>z</sup>	3a	2a	3a	3a	3a	3a
	CellCaSi	4a	4a	4a	3a	4a	4a	3a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 12. The root number per plant of Creeping bentgrass(*Agrostis paulstris Huds 'Penncross'*) in each treatment

Treatment	Month/Day	Root Number per plant						
		6/14	6/21	6/28	7/5	7/12	9/13	10/4
Creeping bentgrass <sup>y</sup>	Control	5a <sup>z</sup>	4a	4a	5a	5a	5a	4a
	CellCaSi	6a	6a	4a	6a	6a	5a	4a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

트그래스의 개체 당 뿌리수를 증가시키는 경향을 나타냈다.

조사기간 중 셀카시 처리구와 무처리구의 캔터키 블루그래스와 크리핑 벤트그래스의 생육을 비교해 볼 때, 전체적으로 시비 후 1개월 이내 생육이 왕성해지며, 엽색의 푸르름이 다소 장기간 유지됨을 볼 수 있었다. 구체적으로 셀카시 처리구와 무처리구에서 두 잔디 생육에 대한 시각적도(visual quality)를 분석한 결과에서 셀카시 처리구의 두 잔디는 견고성(hardness)이 매우 우수하였다(Table 13). 즉, 잔디가 매우 단단하여 상대적으로 마모에 대한 내성이 높은 것으로 판단되었다. 또한 셀카시 처리구의 두 잔디는 신초 밀도(density)가 매우 우수하고, 뿌리 생육도 매우 우수하며, 지하경 생육도 우수한 것으로 나타났다. 이것은 셀카시에 함유된 고함량의 규산질에 의하여 잔디의 줄기 및 잎세포가 단단하게 되었을 뿐만 아니

라 고함량의 석회질과 다공질 입자 특성에 의하여 산성 토양의 중화 및 토양 물리성 개선에 의한 효과라고 사료되었다.

### 토양의 화학적 특성 변화 분석

일반적으로 골프 코스의 토양은 그린 키페에 의해 전문적으로 관리되고 있다. 따라서 무처리구 토양의 pH는 적정한 수준을 나타내고 있었다(Table 14). 무처리구와 셀카시 처리구 토양의 pH를 비교해 볼 때, 셀카시 처리구 토양의 pH는 무처리구와 비교하여 약간 높게 나타났다. 즉, 셀카시 사용으로 토양은 알칼리화되는 것으로 나타났다. 그러나, 셀카시 처리구 토양의 pH는 적정한 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 셀카시 처리구와 무처리구에 대한 추가적인 토양의 pH 교정은 불필요하며 판수도 적절히 이루어지는 것으로 판단되었다. 골프 코스 토양의 적정 유기물 함량(OM)은 0.5~1.5% 정도인데, 무처리구의 유기물 함량은 적정 수준을 약간 상회하고 있어 여름철 병발생 우려가 있으므로 연간 시비프로그램 운영시 연간 유기질 비료 시비량을 조절하여 약간 적게 줄 필요가 있는 것으로 보였다. 셀카시 처리구 토양의 유기물 함량은 무처리구 토양보다 상대적으로 낮고 적정 수준에 근접한 것으로 나타났다. 토양의 보비력과 완충능력을 나타내는 양이온치환용량(CEC)은 셀카시 처리구 토양이 무처리구 토양보다 약간 높게 나타났다. 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량은 뚜렷한 차이를 나타냈다. 즉, 셀카시 처리구 토양이 무처리구 토양보다

**Table 13.** The visual quality on the growth of Kentucky bluegrass(*Poa pratensis* L.) and Creeping bentgrass(*Agrostis paulstris* Huds 'Penn-cross') in each treatment

Item	Control	CellCaSi
Hardness	regular	excellent
Shoot Density	regular	excellent
Rhizome	regular	good
Color	regular	regular
Recovery	regular	regular
Root	good	excellent
Texture	regular	regular
Uniformity	regular	regular

**Table 14.** The change of soil chemical characteristics in each treatment

Treatment	Item	pH (1:5)	OM (%)	CEC (cmol/kg)	$\text{SiO}_2$ (mg/kg)	Ex-cation(cmol/kg)		
						K	Ca	Mg
Kentucky bluegrass	Control	5.9	2.0	6.6	67	0.37	4.60	0.62
	CellCaSi	6.2	1.3	7.1	109	0.32	6.56	0.71
Creeping bentgrass	Control	6.3	2.4	6.2	68	0.42	5.72	0.51
	CellCaSi	6.5	1.8	7.2	117	0.39	6.81	0.61

현저하게 높은 수준을 나타냈다. 이것은 셀카시가 상당히 높은 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량을 지니고 있기 때문이다. 셀카시의 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량은 일반 광재 규산질 비료보다도 높은 수준이다. 치환성 양이온(Ex-cation) 함량은 셀카시 처리구 토양이 무처리구 토양보다 약간 높게 나타났다. 그러나 셀카시 처리구 토양뿐만 아니라 무처리구 토양의 치환성 양이온 함량도 적정 수준을 초과한 상태이므로 추가적인 치환성 양이온의 시비는 불필요한 것으로 보였다.

## 요 약

본 연구는 산업 폐기물인 석탄회 재활용률의 확대를 위한 연구의 일환으로써 석탄회를 재활용한 '셀카시'(CellCaSi)'의 이화학적 특성을 분석하고 캔터키 블루그래스(*Poa pratensis L.*)와 크리핑 벤트그래스(*Agrostis paulstris Huds 'Penncross'*)의 생육과 토양의 화학성에 대한 그 효과를 구명하고자 수행되었다. 포장 시험은 용평 골프 코스에서 수행되었다. 시험 결과는 다음과 같았다.

- 셀카시는 규산( $\text{SiO}_2$ )과 석회( $\text{CaO}$ )가 주요 화학성분으로 총 중량의 70~90%를 차지하며, 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량이 45~55%이고, 석회( $\text{CaO}$ ) 함량이 25~35%로 나타났다. pH는 8~9로 알칼리성으로 나타났다. 그리고 다공질인 셀카시의 용적밀도는  $0.35\sim0.45\text{g/cm}^3$ 으로 석탄회의 용적밀도( $0.8\text{g/cm}^3$ )와 비교하여 경량화되어 있고, 수분흡수량은 52.5~67.5% 정도로 나타났다.
- 셀카시를 사용한 처리구는 무처리구와 비교하여 캔터키 블루그래스(*Poa pratensis L.*)와 크리핑 벤트그래스(*Agrostis paulstris Huds 'Penncross'*)의 염폭,  $1\text{cm}^2$  당 잔디 신초 밀도, 개체 당 지하경 수, 개체 당 지

경 길이, 그리고 개체 당 뿌리수를 증가시키는 것으로 나타났다. 또한 시각적도(visual quality)에서 셀카시를 사용한 처리구는 무처리구와 비교하여 견고성, 잔디 신초 밀도, 그리고 뿌리 생육이 매우 우수하며, 지하경 생육도 우수한 것으로 나타났다.

- 셀카시 사용후에 토양의 화학적 특성 변화를 분석한 결과, 셀카시를 사용한 처리구는 무처리구와 비교하여 pH, 양이온치환용량(CEC), 그리고 치환성 양이온(Ex-cation)이 약간 증가하고, 규산( $\text{SiO}_2$ ) 함량이 현저히 증가하며, 유기물 함량(OM)이 감소하는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- Cope, F. 1964. The establishment of playing field using power station waste-ash. Journal of the Sport turf Research Institute. 40:51-66.
- 하호성, 이협, 김정훈, 이용복, 강명수. 1996. 산업폐기물(석탄회, 석고, 패각)이 작물생육에 미치는 영향. 농림부 연구보고서.
- 한국전력공사 기술연구원. 1990. Fly ash 를 이용한 경량건축재 실용화를 위한 연구.
- 한국전력공사 기술연구원. 1992. 성토재로로서의 석탄회 이용방안 연구.
- 현부성. 1999. 폐유리를 원료로 한 건자재 개발. 세라미스트 2(1):23-26.
- 김문영, 박석환, 이무성. 1995. 석탄회의 광물조성 연구(Mineralogy of fly-ash). 한국자원연구소.
- 김문영, 유장한, 이무성. 1996. 석탄회를 이용한 건축재 개발. 한국자원연구소.
- 김학삼. 1995. 성토재로서 석탄회 사용에 따른 수질오염도 평가. 한국지반공학회지 Vol. 11(3):5-16.

9. 구자형, 김태일, 안주원. 1992. 잔디상토로서의 제지스럽지와 연탄재 이용에 관한 연구. *한국잔디학회지 Vol 6(1):11-22.*
10. Neel, P.L., E.O. Burt, and P. Busey. 1978. Sod production in shallow beds of waste materials. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103(4):549-553.*
11. 박만, 허남호, 최정. 1991. Fly ash 처리가 토양의 물리·화학성에 미치는 영향. *한국환경농학회지. 10:133-137.*
12. Wood, C. B., T. J. Smalley, M. Rieger, and D. E. Radcliffe. 1994. Growth and Drought tolerance of *Viburnum plicatum* var. *tomentosum* 'Mariesii' in pine bark-amended soil. *J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(4):687-692.*