

Rubber chip의 경기장 지반 물리성 개선과 잔디 생육에 미치는 효과

김인철 · 이정호 · 주영규* · David Minner¹

연세대학교 생물자원공학과, ¹Iowa주립대 원예학과

Effects of Rubber Chips from Used Tires on Spots Turf Ground as Soil Conditioner

In Chul Kim · Jeong Ho Lee · Young Kyoo Joo* · David Minner¹

Dept. of Biological Resources & Technology, Yonsei Univ., Wonju 220-710, Korea

¹Dept. of Horticulture, Iowa State Univ. Ames, IA 50011 U.S.A.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of rubber chips from used tires on sports turf ground as soil conditioner to improve soil physical properties. The release of heavy metal ions was detected to check the soil contamination by incorporation of recycled rubber chips with topsoil. The effects of the chips were also evaluated as topdressing material to improve surface resilience. The rate of rubber chips showed a positive relationship with soil temperature increase. Incorporation of rubber chips increased soil temperature on surface at 2.5 cm-depth. The rates of rubber chip showed a negative relationship with ground cover rate of turfgrass in early growth season. However, after 20 weeks, treatment of 10% rubber chips at 2.5 cm-depth showed a prominent cover rate of 70% which was not significantly different with untreated control. Incorporation of rubber chips within topsoil seemed to reduce soil compaction, but the effects was not prominent on physical properties. Rubber chips did not affect chemical properties and heavy metal contamination to soil environment. Rubber chips improved resilience of the compacted ground surface as topdressing material, this effect was prominent when aerification practice was preceded.

Key words: turfgrass, sports turf, rubber chips, topdressing, aerification, resilience

서 론

경기장 지반의 경화는 여러 가지 요인들에 의하여 작용되며 이는 선수들의 부상과도 관련이 깊다. 지반의 경화에 관계하는 요인 중의 하나는

지반 조성 시에 나타날 수 있는 문제점이다. 그라운드 지반 조성 시에는 정확한 공법의 적용과 표준 시공자재 및 골재의 선택을 통하여 정확한 시공을 행하여야 하는데 이는 지반의 경화와 잔디의 품질에 직접적인 영향을 미치는 주요 요인으로 작용하기 때문이다(Puhalla et al., 1999). 일반적으로 상토층은 지하 30cm 정도의 두께로

*corresponding author. Tel : 033-760-2250

E-mail : ykjoo@dragon.yonsei.ac.kr

조성하는데 이 층은 잔디 생육의 기반이 되는 중요한 부분이므로 모래와 토양개량재의 혼합비율이 매우 중요하며 토양의 물리성에 직접적인 영향을 미친다.

또한 부적절한 관리방법은 그라운드지의 경화 요인으로 작용한다. 대부분의 경기장 관리자는 지반의 경화를 막기 위하여 토양개량, 통기작업, 배토 등의 적절한 관리 프로그램을 통하여 지반의 물리성을 개선하지만, 계속적인 그라운드 사용으로 인한 답압의 축적은 잔디의 생육에 악영향을 미치며 토양개량의 필요성을 가진다(Christians, 1998).

현재 토양개량재로 사용되고 있는 것은 무기질, 유기질, 고분자계 토양개량재가 있다. 가장 널리 사용되고 있는 무기질계 토양개량재는 제올라이트, 펄라이트, 버미큘라이트, 세라믹재료 등이 있으며, 이것들은 광물질을 고온처리 후 분쇄한 다공질 재료로서 표면적이 커서 염기 치환용량과 보수성이 크며, 토양의 보수성 및 투수성이 개량되고 비료의 흡착을 촉진한다. 유기질계 토양개량재는 피트모스, 이탄, 하수오니 등 동식물의 유체, 공업제품의 1차 원료의 부산물을 가공한 것 등이 있다. 유기질 토양개량재는 부식산, 리그닌, 셀폰산의 활성에 따라 토양의 보수력, 미생물의 활성 등을 촉진하고, 인산비료가 토양 중에서 철과 결합하여 불용화 되는 것을 막아주며, 철의 흡수를 촉진한다. 또한 완충작용에 의한 토양의 산성화를 방지하고, 보비력과 양분의 공급력을 증대시켜 뿌리의 신장을 촉진시킨다(심규열, 1998). 그리고 고분자 토양개량재는 분자수가 큰 화학물질을 토양개량재로 이용하는 것으로

이는 토양입자를 결합시켜 단립을 촉진시키며 보수성, 투수성, 통기성 등의 물리적 효과를 개선시킨다(Jarvis et al., 1996).

JaiTire(1992)에 의하여 토양개량재로 처음 사용된 rubber chip은 토양의 물리성 개선이라는 장점을 가질 수 있다(Jarvis et al., 1996). 본 연구에서는 경직된 지반에 페타이어를 분말로 가공한 후 이를 고분자계 토양개량재로 사용하여 잔디 생육실험과 토양의 이·화학성 변화를 분석하였으며 rubber chip이 그라운드 건설 시 또는 경직된 그라운드 지반 개선재로서의 사용 가능성에 대한 연구를 수행하였다. 특히 중금속 분석으로 인하여 토양 환경으로의 유출문제를 동시에 고려하여 페타이어 재활용에 대한 연구를 병행하였다. 이러한 결과를 바탕으로 기 건설된 잔디 경기장의 지반 물리성 개선을 위한 토양 개선재로서의 rubber chip 적용가능성을 제시하였다.

재료 및 방법

Rubber chip의 토양 내 혼합이 인한 지반의 이·화학성 개선에 미치는 효과

Rubber chip 입도분석

3개의 rubber chip sample을 sieving test한 결과 Table 1과 같은 입도 분포를 나타내었으며, 입도가 균일한 sample 1을 본 연구 재료로 선택하였다.

실험구 조성

본 연구는 1998년 6월~11월에 강원도 원주시 연세대학교 생물자원공학과 실험포지에서 실시

Table 1. Particle size of rubber chips

	<1.0 mm	1.0~2.0 mm	2.0~2.8 mm	2.8~4.0 mm
sample 1	0.04%	16.40%	82.00%	1.56%
sample 2	10.40%	52.60%	37.00%	0.00%
sample 3	0.01%	17.23%	71.60%	11.20%

하였으며, 각각의 실험구는 1m×1m이었고 지표면에서 지하 2.5cm와 5.0cm에 기존의 사양토지반(sand 84%, silt 4%, clay 12%, sandy loam)에 rubber chip 10%, 20%, 40% 혼합하여 조성하였다.

또한 실험구에 복합비료(10:12:11)를 순질소 기준으로 5g·N/m² 기비하였으며 공시 초종은 한국잔디류(*Zoysia japonica*)의 개량종인 'Zenith'로 1998년 6월 8일에 m²당 8g 파종하였다.

지반의 온도 및 잔디의 시각적 품질 측정

파종한 후 지하 2.5cm에서 지중온도를 측정(HI 8424C, Hanna Instruments)하였고, 표면 온도측정기(Raynger[®] STTM, Raytek)로 9월 10일과 11월 6일에 지반의 표면온도를 측정하였다.

잔디의 시각적 품질은 피복률, 색깔, 밀도를 기준으로 1~9의 9단계로 나누어서 육안으로 측정하였으며, '1'은 고사한 잔디 상태의 상태를 나타낸 것이고, '9'는 이상적인 잔디 상태를 나타낸 것이다. 잔디의 지면 피복도는 실험포지의 잔디 생육과정 중 육안으로 측정된 피복률을 %로 나타내었다(National Turf grass Evaluation Program (NTEP), 1997).

또한, 잔디의 답압 후 피해도 측정은 전동식 roller(무게 500kg)로 인공적인 답압을 가한 후 피해도를 1~5의 5단계로 나누어서 육안으로 측정하였다. 답압 피해가 없는 상태를 '1', 완전한 답압 피해는 '5'를 기준으로 측정하였다.

토양 물리성 측정 및 화학성 분석

토양 물리성은 Cone Penetrometer(CP20 Penetrometer, Agridry Rimik Pty Ltd.)를 사용하여 초기 지반 경도와 답압 전·후의 지반 경도를 측정하여 비교 분석하였다.

조성 후 5개월이 지난 rubber chip이 함유된 지반을 core sampling하여 토양의 물리성을 분

석하였다. 토양-식물 환경 개량을 위한 유기물의 토양 물리성 개선효과를 측정하는 methodology는 ASTM(Annual book of ASTM standards, 1998)에서 연구된 실험실 내의 토양 물리성 측정방법을 이용하였다.

토양 화학성 분석을 위해 Core sampling한 모든 처리구는 실험실 내 상온에서 건조한 후 분석하였으며 미국농학회(American Society of Agronomy: ASA)와 미국토양학회(Soil Science Society of American: SSSA)의 분석방법에 따라 실시하였다(Sparks et al., 1996).

pH와 전기전도도(electrical conductivity: EC)는 pH 측정기(pH meter; 920A, ATI, USA)와 전기전도도 측정기(EC meter; CM-53, Takemura Electric Works, Japan)을 사용하여 측정하였다(농업기술연구소, 1988). 질소의 측정은 Kjeldahl 분석장치를 사용하여 질소를 분석하였으며, 인산의 측정은 Lancaster법을 이용하여 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometry, AAS; UV-2401PC, Shimadzu, Japan)로서 측정하였다(McGill and Figueiredo, 1993). 유기물의 측정은 Walkley-Black법을 이용하여 UV 분광광도기(UV Spectrometer; AA-6701F, Shimadzu, Japan)로 파장 610nm에서 비색 정량하여 유기물을 측정하였다(Walkley and Black, 1934). 양이온과 양이온치환용량(cation exchange capacity: CEC)은 column에 토양 10g과 Ammonium acetate 100ml를 취하여 8시간 처리 후 Alcohol 100ml를 column에 다시 주입하여 양이온을 치환하였다. 밑으로 떨어진 액은 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometry, AAS; UV-2401PC, Shimadzu, Japan)를 사용하여 양이온을 측정하였다. CEC는 column 내에 남아있는 토양을 Kjeldahl(A.O.A.C, 1980) 분석장치를 사용하여 분석하였으며 0.1N H₂SO₄로 비색 정량하였다.

중금속 정성·정량분석

토양환경 오염은 rubber chip 침출물에 의한 중금속 분석을 실시하였다. 토양 1g에 증류수 30~50ml와 H₂SO₄ 25ml를 가하고 수시로 과산화수소 5ml를 넣어 토양을 완전히 분해시켰다. 토양 분해가 끝나면 Whatman No.42 여과지로 여과한 후 증류수로 100mL 표선 하였으며, 전처리가 끝난 soil 용액은 유도플라즈마분광계(Inductively coupled plasma spectrometer, ICP; XR-3100, Perkinelmer, USA)를 사용하여 정성·정량 분석하였다(Basta et al., 1993).

배토재료로서 rubber chip의 토양 물리성 개선 효과

실험구 설정

본 연구는 1998년도 Olympic-mainstadium 경기 시즌이 끝난 후에 10m×10m로 나눈 그라운드 지반의 경도를 측정한 결과(Table 2)를 토대로 3단계의 답압지역(답압이 높은 지역, 중간 지역, 낮은 지역) 중 대표적인 지역을 택한 후 표면탄성을 측정하였다.

Rubber chip의 배토 및 data 측정

먼저 Olympic-mainstadium 잔디 그라운드를 3단계 답압지역(답압이 높은 지역, 중간지역, 낮은 지역)으로 나누고 각각의 실험구 표면탄성을 측정하였다. Rubber chip은 각각 2.5mm, 5.0mm 배토하고 Clegg impact meter(Clegg impact soil tester, Lafayette Instrument Co.)를 사용하여 표면탄성을 측정(head 2.5kg 사용)하였고, 일반적인 토양 물리성 개선 방법인 aerification(tine 9mm) 후에 rubber chip을 배토(2.5cm, 5.0cm)한 후 표면탄성을 측정하여 배토재료로서의 rubber chip 효과를 분석하였다(Clegg, 1976).

실험설계 및 통계처리

모든 실험은 처리당 4반복으로 실시하였다. 실험설계는 난괴법(randomized complete block design)으로 하였으며, 측정된 data값들은 SAS (Statistical Analysis System)를 이용하여 통계분석 하였다(SAS Institute, 1990).

결과 및 고찰

Rubber chip의 토양 내 혼합이 인한 지반의 이·화학적 개선에 미치는 효과

지반의 온도 및 잔디의 시각적 품질 변화

잔디의 생육에 필수적인 요소인 지중온도는 유기물 층이 형성될 수 있는 지중 2.5cm에서 측정하였다. 우리나라 기후 상 여름 날씨인 1998년 6월 29일 측정한 결과, 모든 처리구의 온도는 47.1℃~49.2℃를 나타내었고 5.0cm 토양 내에 rubber chip을 40% 혼합한 처리구에서 가장 높은 온도를 나타내었다. Rubber chip의 함량 및 처리 깊이 간에는 5% 수준의 유의성이 인정되었으며 무처리구와 2.5cm rubber chip을 혼합한 처리구(10%, 20%, 40%) 간의 유의성은 인정되지 않았고, 무처리구와 5.0cm 내에서 rubber chip을 혼합한 처리구(10%, 20%, 40%) 간에는 5%의 유의성이 인정되었다. 그리고 2.5cm rubber chip과 5.0cm 처리구 간에도 유의성이 인정되었다(Table 2).

전체적으로, 페타이어 칩의 토양 내에 혼합한 지중 2.5cm 온도에 영향을 미치며 rubber chip의 함유량이 많을수록 온도 상승효과가 나타났다. 또한 여름 고온기보다는 대기온도가 낮은 가을에 처리구간에 차이는 높았다. 이것은 겨울 저온기와 이른봄 난지형 잔디의 새싹이 돌아날 때 겨울의 동해 피해를 줄이고 이른 봄 맹아출현기를 앞당길 수 있을 것이라 사료되나 복사열이 높은 여름에는 잔디의 고온피해가 우려된다(Table 2).

Table 2. Temperature measured at 2.5cm depth in different rates of rubber chipss mixed soil

Treatment		Temperature (°C)			
Thickness	Rate	June 29, 1998	July 8, 1998	Aug. 14, 1998	Nov. 6, 1998
2.5 cm	Control ^x	47.1 b ^z	40.3	41.0 c	15.4 d
	RC 10%	47.3 b	40.7	41.5 bc	15.7 d
	RC 20%	47.6 b	41.2	42.1 ab	16.7 c
	RC 40%	48.1 b	40.7	41.9 abc	18.2 ab
5.0 cm	RC 10%	47.9 b	41.7	41.9 abc	17.2 bc
	RC 20%	47.8 b	40.2	42.3 ab	17.6 abc
	RC 40%	49.2 a	41.1	42.6 a	18.6 a
LSD _{0.05}		1.2	NS	0.8	1.0
Treatment		*	NS	*	***
Control vs 2.5 cm		NS	NS	*	***
Control vs 5.0 cm		*	NS	**	***
2.5 cm vs 5.0 cm		*	NS	NS	**

*, **, *** parameter means by different letters are significantly different at 5%, 1% and 0.1% probability levels using least significant difference, NS: not significant at 5% probability level.

^xControl means no-treatment, and 2.5 cm, 5.0 cm mean that each treatment mixes rubber chipss (10%, 20%, 40%) in 2.5 cm, 5.0 cm topsoil.

^yRC: rubber chipss.

^za~d Mean within a column with different superscripts are significantly different (P<0.05).

Rubber chip의 함량 및 혼합깊이 처리에 따른 잔디 표면온도의 변화는 여름이 끝난 시기인 9월 6일에 39.6°C~49.4°C였으며 각 함량 간, 혼합깊이 간에는 유의성이 인정되지 않았다. 11월 6일에 측정된 표면온도는 각 처리 간에 차이를 보였으며 rubber chip의 함량이 많을수록, 혼합깊이가 깊을수록 표면온도의 상승효과를 나타내었다(Table 3).

실험구 조성 10주 후인 8월 31일 측정된 잔디의 지면 피복률(coverage)은 처리 간 유의차가 있었고 rubber chip 혼합깊이 간에 유의성이 인정되었으며 잔디의 피복률은 무처리구에서 평균 58.6%로 가장 높았다. 그러나 조성 20주 후인 11월 1일에 측정된 피복도는 무처리구와 2.5cm 내 10% rubber chip을 혼합한 처리구에서 가장 높았고 rubber chip이 혼합량이 많을수록 피복률에 대한 부정적인 영향을 끼쳤다.

반면에 잔디의 시각적 품질상태는 이와 반대로

rubber chip 혼합량이 많을수록 잔디의 색깔은 짙은 녹색을 나타내어 품질이 향상되는 경향을 보였다. 답압 후 피해도(traffic injury)는 2.5cm와 5.0cm의 rubber chip 40% 혼합한 처리구에서 잔디의 피복률이 10% 이하이었기 때문에 답압에 대한 피해를 식별하기 어려웠고 나머지 처리구와 무처리구에서는 답압에 대한 유의한 차이가 없었다(Table 3).

토양 물리성 변화

USGA(1998)에서 추천하는 투수율(infiltrate)의 범위는 우리나라 기후 환경에서의 적용 기준치(accelerated range)인 30~60cm/hr이나, 본 실험의 투수율은 69.5~72.1cm/hr으로 기준치보다 높은 투수율을 나타내었다. 또한 각 처리구 간에 투수율 차이는 인정되지 않았으나 무처리와 5.0cm rubber chip 처리구 간에는 72.1cm/hr, 70.3cm/hr으로 서로간의 유의차가 인정되었다.

Table 3. Surface temperature and visual quality of turfgrass in different rates of rubber chips mixed soil

Treatment		S-temp ^v Sep. 10, 1998	S-temp Nov. 6, 1998	Coverage Aug. 31, 1998	Coverage Nov. 1, 1998	Quality Nov. 1, 1998	Traffic injury Nov. 1, 1998
Thickness	Rate	℃	℃	%	%	1~9 ^w	1~5 ^w
Control ^x	RC ^y 0%	39.8	14.6 c ^z	58.8 a	70.0 a	3.25 e	2.0 ab
2.5cm	RC 10%	41.7	14.8 c	42.5 b	70.0 a	3.50 de	2.0 ab
	RC 20%	49.4	16.2 b	26.3 c	43.8 b	4.25 bc	2.5 a
	RC 40%	45.9	17.9 a	5.0 d	8.0 c	4.25 bc	0.0 c
5.0cm	RC 10%	44.9	16.3 b	23.8 c	42.5 b	4.00 cd	3.0 a
	RC 20%	42.7	16.6 b	10.0 d	25.0 bc	4.75 ab	2.5 a
	RC 40%	40.0	17.8 a	2.8 d	6.5 c	5.00 a	0.5 bc
LSD _{0.05}		NS	1.0	13.2	18.9	0.68	1.7
Treatment		NS	***	***	***	**	*
Control vs 2.5 cm		NS	**	***	**	*	NS
Control vs 5.0 cm		NS	***	***	***	***	NS
2.5cm vs 5.0 cm		NS	*	*	*	*	NS

^x, ^y, ^z parameter means by different letters are significantly different at 5%, 1% and 0.1% probability levels using least significant difference, NS: not significant at 5% probability level.

^vS-temp: surface temperature.

^wQuality of turfgrass was rated on a 1~9 scale: 1=poor turf, 9=ideal turf. And, traffic injury of turfgrass was rated on 1~5: 1=low injury, 5=high injury.

^xControl means no-treatment, and 2.5cm, 5.0cm mean that each treatment mixes rubber chips (10%, 20%, 40%) in 2.5 cm, 5.0 cm topsoil.

^yRC: rubber chips.

^za~e Mean within a column with different superscripts are significantly different (P<0.05).

Table 4. Physical properties of different rates of rubber chips mixed soil

Treatment		Infiltrate	Total porosity	Air-filled porosity	Capillary porosity	Maximum water holding capacity (0.3 bar)
Thickness	Rate	cm/hr	%	%	%	(%)
Control ^x	RC ^y 0%	72.1	43.8	29.7	14.1	6.3
2.5 cm	RC 10%	71.3	44.6	31.0	13.6	5.8
	RC 20%	70.7	44.7	31.1	13.6	5.6
	RC 40%	71.2	43.5	30.0	13.4	5.1
5.0 cm	RC 10%	71.8	43.1	29.9	13.3	5.4
	RC 20%	70.0	44.5	31.4	13.0	5.1
	RC 40%	69.5	43.9	31.4	12.5	6.3
LSD _{0.05}		NS	NS	NS	NS	NS
Treatment		NS	NS	NS	NS	NS
Control vs 2.5 cm		NS	NS	NS	NS	NS
Control vs 5.0 cm		*	NS	NS	NS	NS
2.5 cm vs 5.0 cm		NS	NS	NS	NS	NS

^xparameter means by different letters are significantly different at 5% probability level using least significant difference, NS: not significant at 5% probability level.

^xControl means no-treatment, and 2.5 cm, 5.0 cm mean that each treatment mixes rubber chips (10%, 20%, 40%) in 2.5 cm, 5.0 cm topsoil.

^yRC: rubber chips.

토양 공극(porosity)은 43.1~44.7%로 기준치 (USGA Green Staff, 1993)인 35~55%에 부합 되었으나 각 처리 간에는 유의성이 인정되지 않았다(Table 4).

지반 경도(hardness)는 Cone Penetrometer 로 측정하였으며 지반을 조성한 후 2개월이 지난 8월 31일 측정된 지반경도는 1050.3~1305.5 KPa을 나타내었고, 각 처리구 간에는 차이가 없었다. 그러나 답압 피해 전날인 11월 10일에 측정된 경도는 1500.6~1833.2KPa이었으며 각 처리구 간에는 유의차가 있었으나 일정한 경향을 나타내지 않았다. 11월 11일에 측정된 경도는 500kg 전동식 roller로 답압을 실시한 후 지반의 경도를 측정된 값들이다. 지반의 경도는 1559.2~1819.6KPa이었고 각 처리구 간에는 유의차가 없었다. 또한 지반의 경도는 실험포지 조성 후 2 개월이 지난 지반의 경도보다는 5개월이 지난 지 반의 경도가 높았으며 답압 후의 지반의 경도는 답압 전과 비슷한 경도를 보였다. 따라서 rubber

chip의 토양 내 혼합은 토양의 경화를 줄일 수 있을 것으로 사료되나 그 효과는 크지 않은 것으로 분석되었다(Table 5).

토양 화학성 변화

Rubber chip의 토양 내 혼합은 양이온 치환용 량(CEC)의 변화에 유의한 차이를 보이지 않았다 (Table 6).

질소(N)의 함량은 각 처리구 간에 유의한 차이 가 없었다. 그러나 무처리구와 2.5cm rubber chip 혼합구, 2.5cm 혼합구와 5.0cm 혼합구에 서는 유의차가 인정되었으며 모든 처리구의 질소 함량의 범위는 1.6~2.7%로 분석되었다.

인(P)의 함량은 78.6~104.7ppm으로 일반적 인(P)의 기준치(100~300ppm)에 비해 낮았고 전체 처리구에서 차이가 없었다.

토양 내에 존재하는 염류 농도의 지표인 전기 전도도(김귀곤 등, 1992)는 처리구 간에는 유의 차가 인정되지 않았으며, 45.0~57.6 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로서

Table 5. Effect of compaction on soil hardness measured with Cone penetrometer

Treatment		Soil hardness (KPa)		
Thickness	Rate	Aug. 31, 1998	Nov. 10 1998	Nov. 11 1998
		2 months after construction	Before compaction treatment	After compaction treatment
Control ^x	RC ^y 0%	1110.2	1640.3 ab ²	1685.2
	RC 10%	1195.9	1626.3 ab	1789.7
2.5 cm	RC 20%	1305.5	1693.2 ab	1715.3
	RC 40%	1176.6	1500.6 b	1589.8
5.0 cm	RC 10%	1050.3	1511.1 b	1775.9
	RC 20%	1126.1	1749.1 a	1819.6
	RC 40%	1084.3	1833.2 a	1896.1
LSD _{0.05}		NS	215.4	NS
Treatment		NS	*	NS
Control vs 2.5 cm		NS	NS	NS
Control vs 5.0 cm		NS	NS	NS
2.5 cm vs 5.0 cm		NS	NS	NS

*parameter means by different letters are significantly different at 5% probability level using least significant difference, NS: not significant at 5% probability level.

^xControl means no-treatment, and 2.5 cm, 5.0 cm mean that each treatment mixes rubber chips (10%, 20%, 40%) in 2.5 cm, 5.0 cm topsoil.

^yRC: rubber chips.

²a~b Mean within a column with different superscripts are significantly different (P<0.05).

Table 6. Chemical properties of different rates of rubber chips mixed soil

Treatment		CEC	T-N	P	pH	EC	O.M
Thickness	Rate	cmol/kg	%	mg/kg		$\mu\text{S/cm}$	%
Control	RC 0%	4.5	1.6	86.9	6.4	45.0	2.4
	RC 10%	4.2	2.2	87.5	6.3	47.0	2.2
	RC 20%	5.2	2.6	78.6	6.3	57.8	2.1
	RC 40%	5.5	2.7	90.0	6.3	56.3	2.2
2.5 cm	RC 10%	4.1	1.8	83.5	6.4	49.3	1.9
	RC 20%	4.6	2.4	96.1	6.4	53.5	2.1
	RC 40%	4.4	1.8	104.7	6.3	57.8	2.6
5.0 cm	RC 10%	4.1	1.8	83.5	6.4	49.3	1.9
	RC 20%	4.6	2.4	96.1	6.4	53.5	2.1
	RC 40%	4.4	1.8	104.7	6.3	57.8	2.6
LSD _{0.05}		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Treatment		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Control vs 2.5 cm		NS	*	NS	NS	NS	NS
Control vs 5.0 cm		NS	NS	NS	NS	NS	NS
2.5 cm vs 5.0 cm		NS	*	NS	NS	NS	NS

^{w, **} parameter mean by different letters are significantly different at 5%, 1% probability levels using least significant difference. And NS means no significant difference.

^{a~c} Mean within a column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

^yControl means no-treatment, and 2.5 cm, 5.0 cm mean that each treatment mixes rubber chips (10%, 20%, 40%) in 2.5 cm, 5.0 cm topsoil.

^zRC: rubber chips, CEC=cation exchange capacity, T-N=total-nitrogen, P=phosphate, EC=electric conductivity, O, M=organic matter.

일반적 기준치보다 낮았으나 전기전도도에 대한 문제는 없을 것으로 사료된다.

pH는 6.30~6.41이었으며 전체 처리구에서 차이가 없었고, 유기물(O.M)은 1.9~2.6%로서 일반적 기준치인 0.5~1.5%보다 높았으나 각 처리구 간에는 유의차가 인정되지 않았다.

양이온 중, 마그네슘(Mg^{++}) 함량은 0.18~0.24cmol/kg이었으며 일반적 기준치인 0.5~1.0cmol/kg보다 높았다. 또한 각 처리구 간에는 1%의 유의성이 인정되었고 무처리구 2.5cm rubber chip 혼합구, 5.0cm 혼합구에서 서로간의 유의성이 인정되었으며 rubber chip 함량이 많을수록 rubber chip 혼합깊이가 깊을수록 마그네슘의 함량은 적었다.

나트륨(Na^+)은 0.36~0.40cmol/kg이었고 이는 일반적 기준치인 0.2~0.5cmol/kg보다 높았다. 그러나 각 처리구 간에는 유의차가 없었다. 칼륨(K^+)은 0.38~0.40cmol/kg이었으며 처리

구 간에 5% 유의성이 인정되었으나 각 처리구 간에는 일정한 경향을 나타내지 않았다. 칼슘(Ca^{++})은 1.67~1.86cmol/kg으로 일반적 기준치인 0.2~0.5cmol/kg보다 높았다. 그리고 각 처리구 간에는 차이가 없었다. Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Ca^{++} 의 함량은 일반적 기준치와 비슷하였고 rubber chip의 토양 내 혼합은 양이온의 변화에 영향을 미치지 않았다(Table 6).

토양 중금속의 함량 변화

검출된 Fe, Al, Mn, Zn, Mo, Cr은 처리 구간의 유의차가 인정되지 않았으며 환경적으로 문제되는 Cd, Pb, Cu은 검출되지 않았고 Cr은 환경부 토양오염 기준치(Table 7) 이하로 검출되어 토양 환경적인 영향은 적을 것으로 사료된다(환경부, 1999). 특히 rubber chip의 토양 내 혼합으로 Zn이 식물생장에 제한요소로 작용할 수 있다고 보고 하였으며(Evans and Harkess, 1997), CaCO_3

Table 7. Standard of soil pollution on the Ministry of Environment for Korea (unit=ppm)

As	Cr	Cd	Cu	Hg	Pb	Fe ^x	Zn ^x
80.0	160.0	-	3.6	8.0	6.4	-	-

^xData was not available.

의 첨가로 토양 내 pH를 조정하여 식물생장에 부정적인 영향을 미치는 Zn 활성의 억제에 필요하다고 보고하였으나(Milbocker, 1974) 본 연구 결과 Zn의 함량은 9.4~10.4mg/kg이었으며 무처리구와 rubber chip 처리구들 간에는 유의차가 없었다. 이는 한정적인 실험기간으로 페타이어가 아직 제대로 분해되지 않아 서로간의 유의차가 인정되지 않은 것으로 추정된다(Table 8).

배토재료로서 rubber chip의 토양 물리성 개선 효과
지반 조성 후 잔디 관리 시 사용되는 배토재로서의 rubber chip의 토양 탄성 효과 측정된 결과 답압이 높은 지역의 표면탄성 값은 10.33 g-max로 가장 높았으며 답압이 낮은 지역은 9.61g-max로 표면탄성 값이 낮았다. 따라서 지반의 경화가 많이 일어날수록 표면탄성 값은 증가하였다(Table 9).

Table 8. Contents of heavy metals of different rates of rubber chips mixed soil

Treatment		Fe	Cd	Al	Pb	Mn	Zn	Cu	Mo	Cr
Thickness	Rate	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Control ^y	RC ^z 0%	1661.8	0	126.5	0	99.9	9.8	0	4.1	11.4
	RC 10%	1544.5	0	115.4	0	101.2	9.4	0	8.8	11.4
	RC 20%	1673.5	0	97.3	0	96.0	9.8	0	3.1	9.9
	RC 40%	1461.3	0	98.8	0	98.8	9.8	0	1.4	11.8
5.0 cm	RC 10%	1619.8	0	88.2	0	90.1	9.9	0	6.0	9.4
	RC 20%	1684.0	0	103.1	0	97.3	10.4	0	0.0	10.6
	RC 40%	1535.3	0	72.0	0	85.5	9.5	0	4.4	8.5
LSD _{0.05}		NS	-	NS	-	NS	NS	-	NS	NS
Treatment		NS	-	NS	-	NS	NS	-	NS	NS
Control vs 2.5 cm		NS	-	NS	-	NS	NS	-	NS	NS
Control vs 5.0 cm		NS	-	NS	-	NS	NS	-	NS	NS
2.5 cm vs 5.0 cm		NS	-	NS	-	NS	NS	-	NS	NS

NS: not significant at 5% probability level.

^yControl means no-treatment, and 2.5 cm, 5.0 cm mean that each treatment mixes rubber chips (10%, 20%, 40%) in 2.5 cm, 5.0 cm topsoil.

^zRC: rubber chips.

Table 9. Resilient value of different levels of compaction measured with Clegg impact meter (2.5 kg head) on ground surface of Olympic-mainstadium

Compacted level	Mean (g-max)
Slightly compacted area	9.61 c ^x
Moderately compacted area	9.90 b
Severely compacted area	10.33 a
LSD _{0.05}	0.27

^xa~c Mean within a column with different superscripts are significantly different (P<0.05).

Table 10. The effect of topdressing with different rates of rubber chips and aerification on resilience of ground surface of Olympic-mainstadium measured with Clegg impact meter (2.5 kg head)

Treatment	Mean (g-max)
Control ^y	10.92 a ^z
Rubber chips 2.5 mm topdressing	10.64 ab
Rubber chips 5.0 mm topdressing	10.45 b
Rubber chips 2.5 mm topdressing after aerification	9.15 c
Rubber chips 5.0 mm topdressing after aerification	9.25 c
LSD _{0.05}	0.39

^yControl = no-treatment.

^za ~ c: Parameter mean within a column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

또한 답압이 제일 높은 지역을 대상으로 rubber chip을 답압 개선용 배토재로 사용한 결과 rubber chip을 2.5mm의 두께로 배토할 경우에는 토양 표면탄성 개선효과는 없었으나, 5.0 mm의 두께로 배토할 경우에는 표면탄성이 개선되었다. 또한 aerification 후에 rubber chip을 배토할 경우 표면탄성은 현저히 저하되어 지반의 물리성 개선 효과가 있었다(Table 10).

따라서 현재 우리나라에서 보수 또는 재 조성 공사를 계획하고 이는 연습구장, 보조구장에 재활용이 가능한 rubber chip을 배토용 재료로서 사용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 rubber chip의 배토로 표면탄성을 저하시켜 선수들의 부상을 줄여주고 경기력을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

경직된 지반의 물리성 개선재로서 rubber chip의 토양 내 혼합 또는 배토는 잔디의 생육과 지반의 이·화학적 및 중금속 추출 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

Rubber chip의 토양 내 혼합은 지면의 온도 상승효과를 가져왔으며 이는 겨울철의 동해방지 및 맹아출현기를 앞당길 수 있을 것이라 추정된다. 그러나 복사열이 높은 여름에는 rubber chip

에 의한 표면, 지중 온도의 상승으로 잔디의 피해가 우려된다. 또한 토양 내에 rubber chip의 혼합량(rubber chip 20%, 40%)이 많을수록 잔디의 발아와 생육 및 피복에 부정적인 영향을 끼쳤다. Rubber chip의 토양혼합은 지반의 이·화학적 변화에 크게 작용하지 않았으며 중금속 추출실험에서도 차이를 나타내지 않아 토양환경오염이 없을 것으로 판단된다.

Rubber chip을 배토용 재료로서 사용했을 경우, 경직된 토양구조를 개선시켜 주었다. 특히 통기작업 후 rubber chip의 배토는 지반의 표면탄성을 현저히 완화시켰다. 따라서 현재 우리나라에서 보수중이거나 건설중인 연습구장, 보조구장에 재활용이 가능한 폐타이어 rubber chip을 지반 답압 개선용, 배토용 재료로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Annual book of ASTM standards. 1998. Standard test methods for saturated hydraulic conductivity, water retention, porosity, particle density, and bulk density of putting green and sports turf root zones. ASTM F 1815-97. p. 1502-1506.

2. A.O.A.C. 1980. Official method of analysis. Association of official analytical chemists. Washington D.C., U.S.A.
3. Basta, N.T., D.J. Pantone, and M.A. Tabatabai 1993. Path analysis of heavy metal adsorption by soil. *J. Agron.* 85: p. 1054-1057.
4. Beard, J.B. and S.I. Sifers 1990. Feasibility assessment of randomly oriented, interlocking mesh element matrices for turfed root zones. *In* Natural and artificial playing fields. p. 154-165.
5. Christians, N. 1998. Fundamentals of turfgrass management. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. p. 71-93.
6. Clegg, B, 1976. An impact testing device for in situ base course evaluation. Australia Road Research Bureau Proceedings. 8:1-5.
7. Evans, M.R., and R.L. Harkess. 1997. Growth of *Pelargonium hortorum* and *Euphobia pulcherrima* in rubber-containing substrates. *HortScience.* 32(5): 874-877.
8. Hummel, N.W. 1993. Laboratory methods for evaluation of putting green root zone mixes. *USGA Green Section Record.* March/April: 23-27.
9. JaiTire Industries. 1992. Soil amendment with rubber particles. U.S. Patent No. 5,014,462. Date issued: May 14, 1991. Purchased licensing rights and patent from International soil systems, Inc., Fort Collins, CO. Inventors: R.C. Malmgren, P.N. Soltanpour, and J.E. Cipra.
10. Jarvis B.R., J.B. Calkin, and B.T. Swanson 1996. Compost and rubber tire chip as peat substitutes in nursery container media: Effect on chemical and physical media properties. *HortScience.* 14:122-129.
11. Klute, A. 1986. Method of soil analysis: part 1-Physical and mineralogical method. American Society of Agronomy and Soil Science of America. p. 1-1118.
12. McGill, W.B. and C.T. Figueiredo 1993. Total Nitrogen. *In* Soil sampling and methods of analysis. M.R. Carter (eds.). Lewis Publishers. Canadian Society of Soil Science. 22:201-211.
13. Milbocker, D.C. 1974. Zinc toxicity to plants grown in media containing poly rubber. *HortScience* Vol. 9 December.
14. National Turfgrass Evaluation Program (NTEP), 1997. National zoysia-grass test-1996. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service and Beltsville Agricultural Research Center, Beltsville, MD. 20705. Progress Report 1997 NTEP No. 98-4.
15. Puhalla, J., J. Krans, and M. Goatley 1999. Sports Field: A manual for design, construction and maintenance. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. p. 36-37.
16. Salmond, J.J. 1998. The effects of recycled rubber particles as turfgrass topdressing amendment for intense traffic areas. M.S. Thesis of Iowa State University. p. 1-84.
17. SAS Institute. 1990. SAS/STAT user's guide. Vol. 2. 4th ed SAS Institute, Cary, NC.
18. Sparks, D.L. et al. 1996. Method of soil

- analysis: part 3- Chemical methods. American Society of Agronomy and Soil Science of America. p. 1-1358.
19. USGA Green Section Staff. 1993. USGA recommendation for a method of putting green construction; *In* USGA Green Section Record. March/April:1-3.
 20. USGA recommendations for putting green construction. 1998. <http://www.usga.org/green>.
 21. Vanini J.T. and J.N. Rogers, III. 1995. Topdressing with crumb rubber from used tires in turfgrass areas. Proceeding of the 65th Michigan Turfgrass Conference. Dept. of Crop and Soil Sciences, Michigan State University, Lansing, MI. 24:235-240.
 22. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An estimation of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-37.
 23. 김귀곤, 김명길, 김지덕, 오휘영, 이동근, 임상하, 주영규. 1992. 한국의 골프장계획 이론과 실무. 도서출판 조경. p. 398-455.
 24. 김승도. 1998. 페타이어 관리체계의 개선방안. 타이어 공업협회. p. 4-22.
 25. 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥원 농업기술연구소. 209.
 26. 심규열, 김호준, 심상렬, 정종식, 최준석, 함선규. 1998. 잔디 구장의 조성관리. 한국체육과학 연구원. p. 95-97, 127-188.
 27. 주영규. 1997. 잔디구장의 지반조성 및 잔디 시공; 잔디 구장 건설 및 관리에 관한 심포지엄. 한국잔디육종연구회 p. 58-71.
 28. 환경부. 1999. 토양오염확인기준 제3조 제6호. <http://www.me.go.kr>.