

석사학위논문

제주지역 골프장 연못의 수질 특성과
수질 개선 방안에 관한 연구

지도교수 이 기 호

제주대학교 산업대학원

건설환경공학과

곽 창 암

2009년 12월

제주지역 골프장 연못의 수질 특성과 수질 개선 방안에 관한 연구

지도교수 이 기 호

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함.

2009년 12월

제주대학교 산업대학원

건설환경공학과 환경공학 전공

곽 창 암

곽창암의 공학석사학위 논문을 인준함.

2009년 12월

위 원 장 감 상 규 ㉠

위 원 조 은 일 ㉠

위 원 이 기 호 ㉠

A Study on the water quality and improvement program of the ponds in golf courses in Jeju Island

Chang-Ahm Kwak

Department of Construction and Environmental Engineering

Graduate School of Industry

Cheju National University

Supervised by Professor Ki-Ho Lee

Summary

Ponds, natural purifying structures in golf courses, provide various functions such as water hazard for golfing, aesthetic course feature, water storage for irrigation and blockage of pollutants leakage. Especially in Jeju Island where more than 40 % of rainwater is stipulated to be recycled according to its related regulations, the importance of water quality management of the ponds could not be over-emphasized.

However, the ponds of which flow is relatively slow or stagnant are gradually exposed to water pollution, eutrophication caused by the inflow of nutrient-rich runoff from golf courses, and water bloom, a final phase of abundance of algae at or near the surface of the ponds, which leads to the loss of their

aesthetic value.

On this context, this study has gone through the research on the use of rainwater and consumption of chemicals and fertilizer for the purpose of understanding the water quality of the ponds in golf courses. The monthly research on water quality of the ponds equipped with water purification system has been also accompanied.

Additionally, in order to study the water quality of water purification system, comparative analysis in terms of COD, BOD, SS, T-N, T-P has been conducted on the samples collected twice from the four ponds installed with water purification system (two ponds with Ozone Generator System, two ponds with NAC System and Activated Carbon-applied Tank System respectively) and the two ponds using Simple Circulation Method. The results thereof are as follows.

1. The rainwater recycling amount in golf courses in Jeju Island varies in relation to regulations on storage capacity and rainwater utilizing facility, year of completion of golf course, precipitation, turf type. According to the research on the use of rainwater spanning from January to September 2009, although there was a deviation from course to course, an averaged 66.3% of rainwater has been recycled, which is far above the stipulated limit. The consumption of fertilizers has shown a variance according to turf type. While turf of cold climate needs much

fertilizer in spring and autumn, turf of mild climate needs in summer.

2. According to the water quality analysis, the non-system ponds have shown data two-fold in BOD and T-N, seven-fold in SS, fivefold in T-P, in comparison to the water purification system installed ponds, revealing a wide difference between two groups.

3. According to the water quality analysis, the water quality of the ponds where Ozone Generator System was in normal operation or water hyacinth was planted with NAC System operating has shown superior grade of I to III in the Lake water quality criteria. The ponds of which water purification system was in improper operation have shown a grade of III to VI in the Lake water quality criteria, almost same to that of the ponds with no water purification system.

4. The inflows from individual sewage treatment facility into the ponds has a significant influence on the result of water quality analysis. The water quality of B golf course where its individual sewage is treated in connection with Sewage Treatment Plant has proved higher grade while that of A, D, F golf course of which individual sewage directly inflows into the ponds has shown much higher level in T-P and T-N measurement.

5. In order to improve water quality of ponds in golf courses,

followings should be implemented : 1) proper operation of water purification system through the regular monitoring on water quality 2) minimization of fertilizers and chemicals 3) legislation of water quality management guideline specific to Jeju Island as the case of USGA stipulating the recycling of water in ponds for irrigation.



목 차

요약문	i
I. 서 론	1
II. 이론적 배경	
1. 골프장 연못의 기능과 수질 오염인자	3
1) 골프장 연못의 기능	3
2) 골프장 연못의 수리적 특성	6
3) 골프장 연못의 차수방법 비교	7
4) 골프장 연못의 수질 오염인자	9
2. 골프장 연못의 수질 개선 방법	17
1) 간접적 개선방법	17
2) 직접적 개선방법	19
III. 조사 및 연구 방법	
1. 골프장의 빗물이용 현황, 농약 및 비료사용실태와 수질조사	27
1) 제주지역 골프장의 빗물이용과 농약 및 비료 사용 현황조사	27
2) 제주지역 골프장 연못의 수질특성 조사	28
2. 골프장 선정 및 수질 분석 방법	28
1) 조사대상 골프장의 선정	28
2) 수질 조사 지점 및 분석 방법	28

IV. 결과 및 고찰

1. 골프장의 빗물이용 실태와 농약 및 비료 사용 특성	33
2. 골프장 연못의 수질 특성	40
1) 골프장 연못의 월별 수질 특성	40
2) 수질 정화시스템별 수질 특성	48
3. 제주지역 골프장 연못의 수질 개선 방안	63

V. 결 론	66
--------------	----

참고문헌	68
------------	----



List of Tables

Table 1. Pesticide consumption of golf course area in Japan	11
Table 2. Result of pesticide residues amount analysis of green soil and green effluent of golf course	12
Table 3. Result of pesticide residues analysis(I)	13
Table 4. Result of pesticide residues analysis(II)	13
Table 5. Guideline of fertilizer consumption in Japan	14
Table 6. Amount of fertilizer consumption and absorption in golf course green ·	14
Table 7. Present situation of ponds by water purification system	29
Table 8. Water quality analysis item and method	30
Table 9. Present situation of rainwater use in golf courses in Jeju Island from 2007 to Sept. 2009	34
Table 10. Yearly pesticide consumption of golf courses in Jeju Island(2007) ·	35
Table 11. Total consumption pesticide and consumption per hectare of golf course in Jeju Island	36
Table 12. Yearly fertilizer consumption of golf courses in Jeju Island	37
Table 13. Result of water quality analysis in pond of H-golf course	43
Table 14. Result of water quality analysis in pond of C-golf course	43
Table 15. Results of water quality analysis by respective water purification method in Nov. 2009	48
Table 16. Results of water quality analysis by respective water purification method in Dec. 2009	49
Table 17. Guidelines for Interpretations of Water Quality for Irrigation: Degree	

of	
Restriction on Use	65

List of Figures

Fig. 1. Sectioned drawing of water-purifier tank in drainage basin	20
Fig. 2. Overview of NAC system and its installation	22
Fig. 3. Flow sheet of Ozone generator system	24
Fig. 4. Location for sampling	29
Fig. 5. Monthly fertilizer consumption by H-golf course in 2007	38
Fig. 6. Monthly fertilizer consumption by C-golf course in 2008	39
Fig. 7. Table of temperature changes at Gasiri district during 2007	41
Fig. 8. Table of rainfall changes at Gasiri district during 2007	41
Fig. 9. Table of temperature changes at Yusooamri district during 2008	42
Fig. 10. Table of rainfall changes at Yusooamri district during 2008	42
Fig. 11. Monthly variations of BOD and SS	44
Fig. 12. Monthly variations of T-N	45
Fig. 13. Monthly variations of T-P	46
Fig. 14. Result of DO analysis conducted in Nov. 2009	50
Fig. 15. Result of DO analysis conducted in Dec. 2009	50
Fig. 16. Result of COD analysis conducted in Nov. 2009	52
Fig. 17. Result of COD analysis conducted in Dec. 2009	52
Fig. 18. Result of BOD analysis conducted in Nov. 2009	54
Fig. 19. Result of BOD analysis conducted in Dec. 2009	54
Fig. 20. Result of SS analysis conducted in Nov. 2009	56
Fig. 21. Result of SS analysis conducted in Dec. 2009	56
Fig. 22. Result of T-N analysis conducted in Nov. 2009	58

Fig. 23. Result of T-N analysis conducted in Dec. 200958
Fig. 24. Result of T-P analysis conducted in Nov. 200960
Fig. 25. Result of T-P analysis conducted in Dec. 200960





I. 서론

국내에 골프가 도입된 것이 1백년이 되어 가고, 골프장 이용객수도 점차 증가하면서 이제 골프는 특정 계층의 유희시설이 아닌 일반 대중의 국민 체육시설로 굳건히 자리 매김을 하고 있는 실정이다.

특히 2007년 세계자연유산으로 등재되는 등 천혜의 자연환경을 자랑하는 제주에서는 이제 단순히 눈으로 보고 즐기는 관광에서 벗어나 직접 체험하며 즐기는 관광으로의 변화와 각종 비즈니스와 회의 산업, 리조트형 골프장과 실버산업 측면에서 골프인구의 저변이 확대되어 가고 있다.

이에 따라 다수의 신규 골프장 조성 및 운영으로 인한 환경문제에 대해 일반인과 전문가의 관심이 고조되고 있다. 골프장 조성 및 운영에 따라 자연생태계 파괴, 과도한 지형훼손, 고독성 농약사용으로 인한 토양·수질오염 가능성, 비료의 과도한 유출로 인한 지표수·지하수오염 가능성, 자연형 지표수계 차단으로 인한 홍수 위험성, 주변 용수이용시스템(농업용저수지, 지하수, 하천 등)에 대한 교란 및 용수부족현상 초래, 경관훼손, 해안입지의 경우 해양환경오염문제 등 다양한 환경문제를 일으킬 수 있다는 공통적인 문제는 물론 지하수를 주요 식수원으로 사용하고 있는 제주에서는 골프장에서의 농약, 비료사용에 의한 지하수 오염문제가 특히 중요하다 하겠다.

이러한 골프코스에 있어서 자연적인 환경 정화시설이며, 수경시설 중의 하나인 연못은 홀의 공략을 위한 워터해저드(Water hazard)로, 코스의 경관미를 증진시키는 조경요소로, 갈수시에는 잔디 및 수목의 관개를 위한 저수원으로, 인접지역에 대한 오염물질 유출을 억제하는 수질오염 방지용 조정지 등으로 이용되어 그 역할이 중대하다.

특히, 골프장 이용이 대중화되면서 주변경관을 중시하게 되어 연못의 적절한 배치와 그 수질관리의 중요성은 설계시점에서부터 주요 고려사항이 되고 있다.

한편 제주도의 경우, 조례에 의해 2006년 7월 1일부터 총 용수사용량의 40% 이상을 빗물로 재활용토록 하고 있는 바, 수질이 악화되면 관개용수로 사용할 수 없기 때문에 연못의 수질관리가 더욱더 중요하다 하겠다. 그러나, 이들 연못은 유속이 완만하거나 정체되어 있는 관계로 시간이 지남에 따라 점차 수질이 악화되고 골프코스로부터 유입되는 영양염류 및 이물질(낙엽, 잔디 예초물 등) 등의 오염원에 의해 부영양화를 일으켜 결국에는 연못의 수질이 조류의 번성으로 인한 수화현상, 그리고 부유생물의 번성으로 인해 물이 갖는 경관적 특성을 상실하고 있다.

또한 하절기의 경우 수원이 부족해지면서 일부 코스에서는 연못에서 악취가 발생하여 이용객에게 불쾌감을 주는 등 골프장의 운영에 어려움을 줄 수 있고, 연못물을 관수용으로 사용할 경우 부영양화로 인한 조류 및 영양염류의 과다로 인해 그린에 조류를 발생시키는 원인을 제공하는 등 코스관리의 새로운 문제점으로 부각되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 현재 국내 골프장의 경우 시행 가능한 여러 가지 방법들을 동원하여 수질관리를 하고 있으나 그 이론적 이해와 지식의 부족으로 거의 방치하거나 일부 관심 있는 관리자의 경험에 기초하여 관리되고 있는 실정이다.

그러나 골프장 연못의 수질관리는 호소수 관리에서 다루어지고 있는 호소의 부영양화 이론을 그대로 도입·적용하기에는 연못의 수심과 크기, 형태 등의 물리적인 제약과 농약과 비료 성분의 지속적인 집적, 신선한 보충수의 유입 부족 등과 같은 특성으로 인해 어려움이 있다.

따라서 골프장 연못의 수질관리는 골프코스 관리의 비중 있는 한 영역으로서 연못수질에 대하여 보다 전문적이고 지속적인 관리를 수행해야 하며 골프의 대중 스포츠화에 따른 친수 공간으로서의 기능과 골프가 자연을 이용한 경기라는 특성에 맞게 환경적인 폐해가 적은 환경친화적인 개념을 기본으로 하여야 할 것이다.

이러한 취지에 기초하여 본 논문에서는 제주지역 골프장 연못의 수질정화 공법에 따른 수질 특성을 분석하고, 연못의 기능과 특성에 맞는 효율적인 수질개선 방안을 도출하여 향후 제주지역 골프장 연못의 유지관리에 도움이 되고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 골프장 연못의 기능과 수질 오염인자

1) 골프장 연못의 기능

골프코스에 있어 수경시설 중의 하나인 연못은 크게 골프경기에 있어서 홀의 공략을 위한 워터해저드(Water Hazard)로서의 전략적 기능, 관개용수를 위한 수원지로서의 기능과 수원이 부족한 지역의 관개용수용 또는 상수용수의 저류지로서의 기능을 가지고 있다. 아울러 우기시 물을 저류 및 방류할 수 있는 우배수지로서의 기능, 초기 강우시 농약과 비료의 잔류 성분을 저류할 수 있는 환경보전지로서의 기능, 코스의 경관미를 증진시키는 조경요소로서의 기능을 가지고 있어 그 역할이 매우 중대하며 이를 자세히 살펴보면 다음과 같다.

(1) 워터해저드(Water Hazard)로서의 기능

골프에 있어 해저드(Hazard)는 벙커(Bunker) 또는 워터해저드로 구분되는데 골프규칙에 나와 있는 워터해저드의 정의에서도 알 수 있듯이 골프장 연못은 경기(Play)상 전략적인 고려에서 필요로 하는 해저드 중의 하나이다. 그러므로 해저드로서의 연못은 경기의 묘미와 홀의 공략 난이도 등 경기와 연관되어 계획되어 지며, 연못의 모양, 위치, 구조 등도 이에 따라 각각 다르게 설계된다. 또한 실제적으로 경기자의 능력으로 충분히 극복될 수 있는 연못 장애물이라 해도 경기자들에게 심리적 압박감을 주어 경기에 위축감을 주거나 실수를 유발케 하는 심리적 해저드(Mental Hazard)로서의 역할을 하기도 한다.

(2) 경관(Landscape) 요소로서의 기능

골프장의 연못은 경기적 측면의 해저드로서 역할 뿐만 아니라 개울(Creek), 폭포 등과 함께 골프장 수경관을 형성하는 구성요소이다. 물의 이미지를 충분히 표

현하여 계획된 골프장 연못은 인접해 있는 홀의 경관적 아름다움을 더해 줄 뿐 아니라 각 홀들의 특성을 경기자들이 기억하기 쉽게 하기도 하며, 골프코스 전체의 이미지를 형성하는데 주요 인자로 작용하기도 한다. 연못에 의해 연출된 아름다운 경관은 연못 수면의 수평감에서 느낄 수 있는 물의 이미지 즉, 고요함과 평온함에 의해 경기자들에게 심리적 안정감을 주어 연못이 해저드라는 부정적 이미지를 완화 시킬 수 있다. 또한 석양 및 가을 단풍이 연못 수면에 투영되어 형성된 경관과 아침에 피어나는 물안개 등 골프장 연못과 연관지어 형성되는 경관은 경기자들에게 골프가 경기를 통한 육체적인 운동효과 이외에 수경시설의 경관미에서 느끼는 정서적 안정, 심리적 이완 등 정신적 측면의 이중적 효과를 줄 수 있다.

(3) 관개용 수원지로서의 기능

관수는 잔디 및 수목의 생육에 있어서 가장 중요한 요소이며, 관수량을 결정하는 주요 요인들은 토양 속의 수분, 토양의 보수성, 토양 속으로 스며들어가는 수분량과 표면으로 공급되는 수분량의 조화 등이 있다.

골프장에서 필요로 하는 일 총관수량은 골프장의 지역적 위치, 잔디 초종에 따라 달라지나 확보하여야 할 1일 용수량의 산정은 20년 혹은 30년 갈수기를 고려하여 결정하며 수분 증발량과 최소한의 생육을 기준으로 18홀당 1,500~2,700톤의 확보가 필요한 것으로 판단된다.

일반적으로 관개를 위해 필요한 용수의 수원은 안정적으로 공급받을 수 있는 상수도원이 가장 바람직하지만 제주지역을 비롯한 국내 골프장의 여건상 거의 불가능하며 지하수, 저수지, 연못 등을 시설하여 확보하고 있는 실정이다. 골프장 내에 조성된 연못의 경우 주변의 장애 없이 골프장의 관개용만으로 사용할 수 있다.

또한 최근 골프장의 환경에 대한 관심도가 높아지면서 골프장 내에 발생하는 모든 하수는 고도 처리하여 재활용하도록 하는 내용으로 법규를 강화해 나가고 있다. 이렇게 됨으로서 골프장에서 BOD, SS를 5ppm 정도까지 처리한 후 연못으로 방류하여 코스내의 조경수 및 잔디용 관개수로 재활용하는 사례가 늘고 있는 실정이다.

하지만 오염된 연못 수원을 관개용수로 이용할 경우 오히려 잔디에 병을 유발하고 관개시설의 기능저하를 초래하는 등 역효과를 나타내는 경우가 있어 유의하여야 한다.

재활용시 오염된 연못에서 문제를 일으키는 것은 조류, 수초, 모래, 유기물 찌꺼기, 물고기, 개구리, 달팽이 등으로, 큰 용량의 연못보다는 작은 연못에서 특히 문제가 되고 있다. 수초나 조류의 제거를 위해 약품들(Aquatic herbicides)을 사용하지만 이것들이 연못에 수일 동안 남아 있어 유해 요소로 작용하고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해 3~4일 살수 할 수 있는 수량의 연못을 2개 설치하여 교대로 각각의 연못에 약품을 투입한 후 연못물 내에 약품의 잔류성분이 없어질 때까지 기다렸다가 관수용으로 사용하기도 한다.

(4) 우·배수지로서의 기능

골프장 건설은 넓은 지역의 지형을 변형시키는 작업으로서 개발 전에 유지하고 있던 기존 수리체계 즉 수로 및 유역 면적의 변경이 수반된다. 이러한 수리체계의 변형은 골프코스 배치상 처리해야 할 우수가 집중되거나 주변에 기존 수로가 없어 계획대상지 밖으로 새로운 수로를 설치해야 하는 경우도 발생한다. 처리해야 할 우수가 집중되는 경우는 그 양의 증가로 기존 수로의 용량을 초과하게 되어 주변 지역에 피해를 주기도 한다. 피해를 방지하기 위해 초과하는 유출량을 소화할 수 있는 연못의 조성은 홍수시 유출량 조절 및 유속을 감소시켜 급류의 에너지를 감소시키는 조정지로서의 역할을 한다. 특히 공사 중에는 토사의 유실로 인한 피해가 빈번히 발생하는데 토사의 유실을 1차적으로 저류할 수 있는 침사지로서의 기능도 한다.

계획 대상지 외에 새로운 수로를 설치해야 하는 경우는 지형적으로 불가능하거나 많은 예산이(토지매입과 공사비) 소요되므로 이럴 경우 차집되는 우수를 전량 소화할 수 있는 용량의 연못을 조성하여 저류지로서의 역할을 하게 한다.

특히, 기존 수로가 제대로 형성되어 있지 않거나 정비가 안되어 있는 제주지역에서 골프장 계획시 자체에서 발생하는 우수를 방류하지 않고 전량 저류해야 하는 경우다.

(5) 환경보전지로서의 기능

골프코스에는 그린(Green), 티(Tee), 웨어웨이(Fairway), 러프(Rough) 등의 특성에 따라 일정한 크기의 잔디 생육을 조장하고 토양의 보전을 도모하기 위하여 입지 특성에 맞는 비료 및 농약을 시비하고 살포한다.

시비 및 살포된 비료와 농약은 토양의 흡수능에 따라 다소 차이는 있으나, 잔류성이 있어 대부분 토양 및 잔디의 뿌리주변에 흡수되어 있고 일부는 잔디표면 및 토양의 표면에 남아있게 되어 강우시 초기 우수에 의해 씻겨 내려가게 되고, 이러한 농약 및 비료가 외부로 유출되게 되어 인근 농경지 및 지하수의 오염원이 될 수 있다.

따라서, 골프코스의 조성시 연못은 코스 내 배수구역을 고려하여 적절한 집수 위치 및 용량, 개소수를 선정하고, 암거 및 맨홀 등을 통하여 초기 강우시 씻겨 내려오는 농약 및 비료를 집수토록 하여 농약 및 비료의 외부 유출을 근원적으로 차단하고, 일정기간의 저류를 통하여 유해성분의 잔류성을 극복케 함으로서 환경오염의 1차 조정지로서의 역할을 수행한다. 아울러, 현행 환경영향평가법상 골프장 조성시 개발로 인해 변형되는 지역의 우수는 인접지역에 집수하여 14일간 저류한 후 방류토록 하고 있다.

2) 골프장 연못의 수리적 특성

수경시설로서의 연못은 일반적인 호소의 수리적 특성과는 다소 차이가 있으며, 그 차이점을 고찰하면 다음과 같다고 할 수 있다.

첫째로, 수심이 낮은 연못은 성층현상(Stratification)이 일어나지 않는다는 점이다. 일반적인 호소의 성층현상은 적어도 10m이상의 심도에서 온도에 따라 일어나게 되는데, 수원확보의 어려움과 경기자의 안전을 위해 수심이 낮게 설계되는 골프장 연못의 경우에는 낮은 수심으로 인한 온도변화가 미약하므로 온도에 의한 성층현상이 일어나지 않는다고 할 수 있다.

둘째로, 수심이 낮은 연못은 바람의 영향이 지배적이다. 일반적인 호소에서는 심도 5m이하에서 바람의 방향을 거의 받지 않으나, 수심이 낮게 계획된 골프장 연못의 경우 풍향 및 풍속에 따라 유선이 형성되는 특성을 갖는다.

셋째로, 수심이 낮아 온도 차가 적은 연못은 태양광의 영향으로 비교적 수온이 높은 편이므로 오염물질 유입부하에 민감하다.

넷째로, 일반 호소와는 달리 유역면적이 작아 일정 오염물질이 유입시 급속한 확산이 일어나며, 단시간 내에 연못전체에 오염물질의 영향이 일어나는 등 자정 능력을 갖고 있지 않다. 이는 연못내 조류발생시 연못 전체에 수화현상(Water bloom)이 단시간 또는 수일 내에 이루어지며 강우시 일부의 토사유입에 따라 연못 전체의 탁도가 일시에 증가하는 원인이기도 하다.

마지막으로 다양한 오염원에 의해 오염되는 일반 호소수에 비해 골프장 연못의 오염은 적은 수의 오염원으로 인해 오염되므로 그 오염물질의 처리가 용이하다고 할 수 있다. 일반적으로 호소 내 오염이 심화되면 이에 대한 처리시 대상유역이 넓고 수심이 깊어 많은 처리비용이 요구되고 장기간의 처리 시간이 소요되는 데 반하여 골프장 연못의 경우 유량이 적고 수심이 낮아 처리 운전이 간단하고 단시일에 원하는 수질로 회복할 수도 있으며, 극단적으로 처리가 용이하지 못할 때에는 연못 내 물을 전량 회수하여 별도 처리 또는 교체할 수도 있으므로 일반적인 호소수 관리보다 어려움이 적다고 할 수 있다.

그러나, 경관적 효과를 위해 골프장 연못의 대형화 및 환경영향평가 측면에서 1개의 연못에 수 만톤의 물을 저류해야 하는 것을 감안할 때 악화된 연못물을 전량 교체하는 데는 수원확보 측면과 오염된 물의 방류시 발생하는 문제 등으로 어려움이 있으며 또 골프장의 운영면에서 대부분 주중 월요일을 제외한 6일간 골프장 운영이 이루어지는 실정을 감안한다면 신선한 물로 전량 교체 처리하기가 용이하지 않은 것이 현실이다.

3) 골프장 연못의 차수방법 비교

골프장 연못의 방수는 구조적 측면뿐만 아니라 수질관리 측면에서도 매우 중요하다. 연못의 누수로 낮아진 수위는 태양광의 영향으로 수온이 쉽게 높아져 오염물질에 대해 민감하게 반응하며 정화능력도 떨어진다.

특히 골프장 연못은 안전상의 문제로 수심이 낮게 설계되는데 연못의 누수는 수량(水量)이 부족하여 연못의 수질 오염을 더욱 악화시키는 원인이 된다.

현재 국내에 이용되고 있는 방수법은 쏘일 벤토나이트 방수법(불투수성 점토를 이용한 방수법, Soil Bentonite), 시트류 방수법[EPDM시트 방수법(인공합성 시트를 이용한 방수법, Ethylene Propylene Diene Monomer), EVA(Ethylene Vinyl Acetate copolymer), ECB(Ethylene Copolymer Bitumen), CPE(Chlorinated Polyethylene), PVC(Propylene Vinyl Copolymer)], ESS-13 방수법(식물성 수지를 이용한 방수법), 콘크리트 방수, 우레탄 방수, 아스팔트 멤브레인 방수 등이 있다(정 등, 2001). 이들 연못의 방수 기법이 올바르게 적용되고 시공 및 사후관리가 될 때 골프장 연못의 기능을 제대로 수행할 수 있을 것이다.

그리고, 우리나라에 사용되는 주요 연못 방수법은 쏘일 벤토나이트 방수법(불투수성 점토를 이용한 방수법, Soil Bentonite), 시트류 방수법 중에서 대표적인 EPDM 시트 방수법(인공합성 시트를 이용한 방수법), ESS-13 방수법(식물성 수지를 이용한 방수법) 등이 있다. 그러나 미국, 유럽 및 중국 등의 일부 골프장 연못은 자연형 연못을 조성하므로 특별한 방수 처리가 필요 없는 곳도 있다. 또한 연못의 방수법은 위치, 토양, 면적, 깊이 등에 따라 다르며 현장 여건을 고려한 적합한 방수법이 적용되어야 한다. 우리나라에 사용되는 골프장 연못 방수법의 정의와 장단점을 요약하면 다음과 같다.

(1) Soil Bentonite 방수법

현장에서 쉽게 구할 수 있는 토양에 적당한 양의 고품질 나트륨 벤토나이트를 혼합한 후 현장에 포설하고 다짐을 하여 방수 처리하는 방법이다.

쏘일 벤토나이트 방수법의 장점은 수질 개선 효과, 수생식물 식재가능, 공사 기간 단기소요, 자동화 기계설비에 의한 공정관리로 완벽한 방수기능 유지, 공사비가 저렴하고 누수가 될 때 원인규명이 쉽게 드러나는 장점이 있다. 반면 현장 양질토 확보가 어려울 경우 토사확보로 인한 예산증가, 우기에 시공 불가능 및 연못 가장자리모양의 다양화가 어려운 단점이 있다.

(2) EPDM 시트 방수법

내화성 및 산 또는 알칼리성에 대한 저항성이 강한 인공합성 방수 시트를 깔아 물의 누수를 방지하는 공법이다.

EPDM 시트 방수법의 장점은 완벽한 방수기능 유지 및 연못 가장자리를 다양한 모양으로 조성할 수 있다. 반면 자연 친화적 공법이 될 수 없고, 공사 기간이 장기 소요되며, 복합 공정으로 인한 하자 발생 가능성이 높고, 환기구(air ventilation) 설치와 맹암거시설 등의 부대 공정이 필요하며, 누수시 원인규명이 어려운 단점이 있다.

(3) ESS-13 방수법

식물성 기름인 수지성 우유 빛의 환경 친화적인 물질인 ESS-13이 흙과 함께 작용하여 호수나 연못의 영구적인 방수가 가능하게 고안된 공법이다. 즉 ESS-13은 흙속의 작은 공극에 들어가 팽창하거나 흙 입자를 피복 후 팽창되어 흙의 안정화와 공극의 최소화로 누수율을 감소시키는 것이다.

ESS-13 방수법의 장점은 영업중인 골프장 연못의 누수 공사시 영업에 지장을 적게 주며, 시공비가 저렴하고, 공사기간의 단축이 가능하며, 기존 방수 소재의 교체 없이 효과적으로 보완할 수 있는 공법이다. 반면 ESS-13 방수법의 주성분은 식물성 기름을 기초로 한 친환경적이고 매우 안전한 무독성 제품이나 이 식물성 기름이 물고기의 아가미에 접촉되어 물고기를 질식사시킬 수 있으므로 ESS-13을 사용하기 전에 연못 속의 물고기를 다른 곳으로 옮겨야 한다.

4) 골프장 연못의 수질 오염인자

연못에 대한 오염인자는 연못 주변에 식재된 수목의 낙엽, 잔디 예초물, 기타 유기물, 농약 및 비료의 잔류 성분이 강우시 표면배수관을 통해서 또는 직접적으로 연못으로 유입되는 것으로 대별할 수 있다. 하지만 대부분의 코스에서는 낙엽수를 식재치 않거나, 잔디 예초시 댓치(Thatch)가 형성되지 않도록 주의를 하기 때문에 이로 인한 오염은 크지 않으며, 대부분이 코스관리를 위해 뿌려져 댓치층과 토양 속에 잔류된 농약과 비료가 강우시 또는 살수시 유출 되어 연못에 지속적으로 유입되는 것이 직접적인 원인이라 할 수 있다.

간접적인 인자로는 외부 수원의 지속적인 공급부족 또는 순환시스템의 미비로 인한 정체와 5m 이하의 낮은 수심으로 인한 자정능력의 저하 등을 들 수 있다.

이러한 농약과 비료의 연못 내 유입은 연못 내의 영양염류의 증가와 연못의 정체 및 자정능력 저하가 복합적으로 작용해 연못의 수질 악화를 초래한다.

(1) 자연적인 원인

가. 온도의 성층화

온도의 성층화란 온도차에 의한 층의 형성을 의미한다. 여름철에는 연못의 수면 온도가 높아지면서, 바닥의 찬물보다 밀도가 가벼워지게 된다. 이와 같이 수면과 바닥의 수온차가 점점 커져 호수의 물이 여러층으로 나뉘어진다. 이런 층의 형성은 온도변화에 따른 밀도의 차이로 생기며 이를 온도 성층화라 한다. 온도 성층화로 인해 수면의 물과 바닥의 물이 섞이지 못한다. 성층화된 연못의 바닥과 수면사이의 영역 즉 변온층이 물의 수직혼합을 방해하는 물리적인 장애요인이 된다. 이로 인해 수면의 물은 따뜻한 상태를 유지하여, 조류성장을 촉진한다. 이것이 바로 연못의 산소고갈과 스트레스의 원인이 된다.

나. 영양물질

연못 속에는 무수한 생명체가 모여 살면서 생태계를 형성하고 있다. 오염이란 생태계 내의 물질의 흐름에서 일어나는 현상이기 때문에 이 문제는 근본적으로 생태학을 떠나서 해결할 수 없다.

오염현상은 외부에서 유입된 오염물질이 다른 물질로 변형되면서 발생한다. 유기물은 식물의 생장에 필수적인 탄소화합물이다. 연못생태에서 인과 질소를 함유하는 이러한 화합물을 많이 다루게 되는데, 사실 인은 수생식물의 성장에 지대한 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 영양물질의 양이 증가할수록 수생식물과 잡초의 성장이 활발해진다. 유기물은 미생물에 의해서 분해되어 무기물로 변환하고 이러한 무기물은 조류의 먹이가 된다. 결과적으로 오염물질이 많이 흘러 들수록 녹조는 더욱 늘어나고, 수질은 더욱 악화된다.

다. 산소부족

연못 생태계에 중요한 세 번째 요소는 산소이다. 산소는 연못의 먹이사슬에 도움을 주며 다양한 동·식물이 번성하는 건강한 연못 생태계를 유지하는데 필수적이다.

수질악화의 가장 큰 원인중의 하나인 조류의 발생을 근본적으로 방지하려면 자정작용이 가능할 정도로 물을 순환시켜주어야 하며, 그 순환작용은 지속적으로 이루어져야 한다. 흐르는 물이 썩지 않는다는 원리이다. 정체된 상태에서 차가운 물은 심층부에 가라앉고 밀집성이 적은 더운물은 위로 뜨게 되어 수온의 성층화 현상을 이루는데 조류는 더운물 쪽의 경계선에서 주로 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 이러한 성층화를 없애주고(순환), 풍부한 산소를 공급(용존산소의 증대)하여 호기성 생물(에어로빅 박테리아)의 성장을 도와 연못바닥의 찌꺼기를 제거해 주어야 한다. 그러나 골프장에 만들어진 연못은 여러 가지 충분한 만큼의 순환이 사실상 불가능하므로 별도의 방법을 이용하고 있는 실정이다.

(2) 인위적인 원인

가. 농약 사용

골프장에 있어서 농약의 사용은 골프코스의 수목과 잔디에 발생하는 병충해를 방제하기 위해 살포하는데 주로 잔디 병충해 방제에 많이 사용한다. 잔디에 발생하는 병충해는 여러 가지로 전염이 빠르며 복합적인 증상을 보이는 특성이 있다.

또한 골프 코스의 관리 수준을 높이면 높일수록 더 많고 복잡한 병충해의 발생이 예상된다. 그리고, 골프장의 농약사용량은 Table 1과 같이 Area별로 많은 차이를 보이며, 일본의 경우 단, 3.2%의 면적을 차지하고 있는 그린에 농약사용량의 약 60.5%가 투여되고 있는 것으로 나타나고 있다.

Table 1. Pesticide consumption of golf course area in Japan

Area	Area component ratio(%)	Pesticide consumption (%)	Remarks
Green	3.2	60.5	
Tee	2.4	10.8	
Fairway	38.3	17.9	
Rough	48.7	9.4	
etc.	8.3	1.4	

(Data : ゴルフ場の開發の 地域環境問題, 1983.3, 環境科學年報)

국내 골프장의 경우 투여된 농약이 얼마만큼 잔류되는 지를 문헌으로 살펴보면 다음과 같다.

한국잔디연구소(1990)의 자료를 보면 Table 2와 같이 대부분의 농약이 깃치층과 표토(지표~15cm)에 잔류되고 모래나 원토에는 극미량이 검출된 것으로 나타났다.

Table 2. Result of pesticide residues amount analysis of green soil and green effluent of golf course

(unit : mg/L)

Sample Pesticide	Thatch (잔디+부식층)	Surface soil (지표~15cm)	Sand (15~35cm 이하)	Original soil (50cm 이하)	Effluent
Thalonil	11	7	trace	trace	불검출
Trichlorfon	0.68	0.02	"	"	불검출
Captafol	0.34	0.11	"	"	불검출

(Data : 잔디 관리자를 위한 관리정보, 제5호, 1990, 한국잔디연구소)

trace : 검출한계 이하

또한 국립환경연구원에서 골프장의 토양, 잔디, 연못 등에서 잔류농약을 분석한 결과 Table 3과 같이 Daconil, Dicofol, Orthocide 등이 잔디, 토양, 연못에서 검출된 것으로 조사되었다. 그리고, 1991년과 1992년 제주도 보건환경연구원에서 제주도내 3개 골프장의 토양, 잔디, 유출수 등에서 유기인계 농약잔류량을 조사한 결과도 Table 4와 같이 일부 잔디에서 맵프(MEP)농약이 검출된 것으로 나타났다.

이렇게 코스에 잔류하고 있는 농약들은 결국은 연못대로 직접 유출되어 수질 오염 인자로서 작용한다고 할 수 있다.

Table 3. Result of pesticide residues analysis(I)

(unit : mg/L)

Classification	Turf	Soil	Pond	Fruit-Vegetables
Daconil	불검출~1.76	불검출~0.0046	불검출	사과:0.017~0.781 배:0.001~0.214 오이:0.007~0.523
Dicofol	불검출	불검출~0.7470	불검출~0.0007	
Orthocide	불검출	불검출~0.0078	불검출	사과:trace~0.781 배:0.005~0.236 딸기:0.004~0.132
Captifol	불검출	불검출	불검출	사과:0.06~4.540 배:0.003~0.245
Dimeton-S-methyl	불검출	불검출	불검출	

(Data : 잔디 관리자를 위한 관리정보, 제10호, 1992, 한국잔디연구소)

Table 4. Result of pesticide residues analysis(II)

(unit : mg/kg)

Sampling point		Year		
		1991	1992	
Ora C.C	Green	Soil	ND	ND
		Grass	MEP : ND~0.13	MEP : ND~0.2506
	Fairway	Soil	ND	ND
		Grass	ND	ND
Out,	Water	ND	ND	
Jeju C.C	Green	Soil	ND	ND
		Grass	MEP : ND~0.10	ND
	Fairway	Soil	ND	ND
		Grass	MEP : ND~0.30	ND
Out,	Water	ND	ND	
Jungmun G.C	Green	Soil	ND	ND
		Grass	MEP : ND~0.98	MEP : ND~0.4267
	Fairway	Soil	ND	ND
		Grass	MEP : ND~0.045	ND
Out,	Water	ND	ND	

ND : Not Detect

나. 비료 사용

식물생육에 필요한 양분의 과·부족 없이 평형을 유지하며 순환하는 자연생태계와는 달리 식물 서식 환경이 인위적으로 조성된 골프장은 외부로부터 지속적으로 양분 공급을 해야 하는 시설 중 하나이다. 특히 관리 특성상 골프코스의 잔디는 빈번한 예초가 이루어지므로 예초 빈도에 비례하여 양분 공급을 해야 한다.

일반적으로 골프장에 시비되는 비료량은 관리의 수준, 초종, 골프장 조성상태 등에 따라 달라지지만 일본의 경우 Table 5와 같은 기준으로 사용되고 있다.

Table 5. Guideline of fertilizer consumption in Japan

(unit : g/m/year)

Area	N	P ₂ O ₅	Remarks
Tee	23.0	16.0(6.98)	
Green	19.0	10.0(4.36)	
Fairway	10.0	5.0(2.18)	
Rough	6.0	4.0(1.75)	

(Data : 山黃尾ゴルフコース建設事業 環境影響評價書, 1995. 2, 株式會社 青水建設)

Table 6. Amount of fertilizer consumption and absorption in golf course green

(unit : kg/10a)

Classification	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	consumption	absorption	consumption	absorption	consumption	absorption
Green	37.5	22.5~26.3	27.5	3.0~3.9	30	10.5~12.0

(Data : 김인섭, 한국골프의 미래, 1996.)

골프코스의 관리를 위해 사용되는 비료는 주로 화학비료로서 성분은 식물이 쉽게 흡수할 수 있는 형태이지만 Table 6에서와 같이 사용량 전부가 목적 식물에 의하여 흡수 이용되는 것은 아니다.

또한 여러가지 경로를 통하여 손실이 일어나게 된다. 손실의 형태는 토양성분에 의한 흡착, 대기예로의 증발산 및 휘산, 근권 외부로의 용탈 및 유실 등이다.

골프장 내에서는 모든 우수가 연못으로 차집되게 되어있는 경우 이 용탈 및 유실로 인한 비료성분이 연못으로 유입되고 있다. 골프코스에 사용하는 유기질 비료 또한 화학비료와 거의 같은 상황으로 잔류 성분이 연못 내 유입이 이루어지고 있다.

식물에 의하여 흡수 이용되는 질소(N)의 화학적 형태는 암모니아성 혹은 질산성이다. 토양조건에 따라서 암모니아성 질소는 공중으로 휘산 되기 쉽고, 질산성 질소는 지하로 용탈되기 쉬워 하천수나 지하수의 오염을 일으키기도 한다. 이렇게 오염된 하천수 및 지하수의 연못 내 유입은 연못 내 질소 성분의 증가를 가져온다.

칼륨(K)은 토양에 흡착되어 용탈되기 어렵지만 토양의 흡착용량을 초과하게 되면 토양수에 의하여 유기 또는 용탈된다. 이 또한 골프장 수리체계상 자연스럽게 연못 내로 유입되고 있다.

인(P)은 질소나 칼륨과는 달리 공중으로 휘산되거나 토양수에 용해되어 용탈되기란 매우 어려운 성분이다. 인은 과잉으로 사용될 경우 산성토양에서는 철, 알루미늄과 결합하고, 중성 내지 알칼리성 토양에서는 칼슘(Ca)과 결합하여 토양 중에서 고정되어 점차 축적된다. 그러나 이렇게 고정된 인산도 토양이 침식될 때 토양입자와 함께 수계를 따라 연못 내로 이동하여 결국은 연못의 부영양화를 일으키는 주요 인자로 작용하게 된다.

다. 기타 잔디 예초물 및 개인하수처리시설 등

골프장에 식재된 잔디는 공원이나 정원에 식재된 관상용 잔디와는 달리 골프를 위한 운동장 개념으로서 주기적으로 일정한 높이로 깎는 작업을 해야하고, 이렇게 발생하는 잔디예초량은 잔디 초종과 깎는 높이, 잔디식재 면적, 비료사용량 등 다양한 요인에 의해 달라질 수 있다.

이렇게 발생한 잔디예초물은 폐기물관리법상 사업장 폐기물에 속해 함부로 버릴 수 없으며, 아무렇게나 방치해서도 안되기 때문에 잔디예초물을 스스로 처리하거나 위탁, 또는 퇴비 등으로 재활용 처리하여야 하며, 2009. 9월에는 폐기물관

리법이 개정되어 잔디예초물을 사업장 부지 내에서 주변지역의 환경오염 없이 (민원이 제기될 정도의 악취 발생이 없어야 하며, 지나치게 많은 양을 쌓아 침출수가 발생하지 않아야 함) 녹비 및 피복재로 활용할 수 있도록 하고 있어, 웨어웨어나 러프 등의 조경수목에 사용할 수 있게 되었다.

그러나 제주도 골프장의 잔디예초물 처리현황은 2007년도에 95.3%가 소각처리되고 있고, 자체활용(퇴비화 등) 1.4%, 농가보급 1.9%, 기타(보관)이 1.5%로 잔디예초물의 대부분을 소각처리 하고 있는 실정이다.(함의수, 2009)

그리고, 잔디를 깎은 후 아무리 수거를 잘한다 해도 비, 바람 등에 의해 잔디예초물이 날리거나 연못으로 유출되어 농약과 비료성분을 머금은 잔디예초물로 인해 연못에 부영양화가 발생할 수 있다.

또한 최근 골프장내 숙박시설이 들어서고, 골프장 내장객과 관리인원 등으로부터 발생하는 하수로 인해 개인하수처리시설에서 처리된 방류수가 연못으로 유입되어 BOD, SS 등의 증가를 가져온다.

2. 골프장 연못의 수질 개선 방법

연못의 수질개선 방법은 크게 2가지로 분류할 수 있는데 첫째, 연못으로 유입되는 오염원을 차단하거나 최소화하는 예방적 차원의 간접적 방안과, 둘째, 연못에서 발생된 오염원을 제거하거나 감소시켜 수질악화의 진행을 방지 및 개선하는 직접적 처리방안으로 나눌 수가 있다.

1) 간접적 개선방법

환경적인 측면에서 가장 바람직한 것은 농약이나 비료를 사용하지 않는 것이다. 그러나 골프 코스에서 농약이나 비료를 사용하지 않고 잔디를 관리하는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 오염원을 완전히 차단하는 것도 불가능한 것으로 보고 있다. 우선 우기시 지표면으로 흐르는 것을 차단하는 것은 연못의 위치가 대부분 주변 지형보다 낮은 곳에 위치하고, 특히 비가 많이 올 경우 연못의 모서리를 따라 차수거를 설치하더라도 한계가 있기 때문이다. 이보다도 골프장에서의 연못의 주기능 중의 하나는 앞서 언급한 것처럼 코스내 잔류 농약 및 비료 성분이 외부로 방출되는 것을 방지하기 위해 초기 우수를 연못으로 집수하여 14일 이상을 저류한 후 방류하기 위한 저류지 기능 때문에 최근에 조성되거나 운영되는 골프장의 대부분은 표면배수로를 통해 초기 우수를 연못으로 차집하도록 하고 있다.

이러한 상황 하에서 연못수질의 악화를 방지하기 위해선 오염물질의 사용, 즉 비료와 농약의 사용을 줄이는 것도 수질오염을 저감하는 간접적 방법이라 할 수 있겠다.

현재 비료나 농약의 사용을 최소화하는 방안을 문헌적으로 살펴보면 국내의 경우 Green 상토층에 개량재(바이오 세라믹)를 사용하여 비료 사용량을 $40\text{g.N/m}^2/\text{년}$ 에서 $20\text{g.N/m}^2/\text{년}$ 으로 사용량을 반으로 줄인 연구결과와 Green에 활성탄을 혼합하여 농약을 제거한 연구결과와 Fairway에 제오라이트를 혼합하여 농약을 제거한 연구결과를 적용하여 시행하고 있다.

농약이나 비료에만 의존하는 토양의 화학적 관리는 단기적으로는 효과적일 수 있으나 장기적인 관점에서는 식물이 양분으로 사용하고 남은 화학물질이 염화물, 포름알데히드, 소듐염, 유화물 등의 물질로 토양내 축적되어 토양상태를 열악하게 만들게 되고 이를 개선하기 위하여는 더 많은 농약이나 비료를 사용해야 하는 악순환이 계속된다.

미국에서는 1992년 미생물을 이용한 생물학적 재배관리 시스템(System)을 개발하여 '95년말 현재 208개 골프장에 시공, 농약 및 비료의 사용을 최소화(농약 및 비료사용량 감소효과 : 1차년도 20%, 2차년도 30%, 3차년도 50%)하면서 잔디를 관리하고 있다

한편, 국내에서도 기존 골프장의 코스관리자(Green Keeper)들을 중심으로 이와 유사한 생물학적 잔디관리 시스템의 도입을 추진하여 일부 골프장에서는 시험 중에 있다.

이 외에 농약사용을 최소화하는 방향으로 잔디깎기의 조절, 산도의 조절, 시비의 조절, 관수의 조절, 토양개신 작업과 배토작업을 적절히 해주거나 잡초 방제시 제초제를 사용하지 않고 인력제초의 방법을 사용함으로써 농약 사용량을 줄이는 방법이 적용되고 있다.

2) 직접적 개선방법

(1) 물리적 처리방법

가. 폭기(Aeration)

수중에 수질을 결정하는 중요한 인자인 폭기는 수중에 산소를 인위적으로 공급해 수중의 용존산소량을 높여 줌으로서 수중생태계를 복원하는 방식이다.

산소를 수중에 충분히 공급함으로써 얻게 되는 효과로는 첫째 철이나 망간 등 이온의 산화 및 침전, 둘째 pH 6.7~7.3으로의 교정, 셋째 CO₂량의 감소, 넷째 물 색깔의 환원, 다섯째 대부분의 조류분무제거, 여섯째 질소, 인의 농도저하 등을 들 수 있다.

수질 개선에 이용되는 가장 기본적인 폭기장치는 낙차식 폭기장치와 확산식 폭기장치가 있다.

낙차식 폭기장치에는 분수식 폭기장치, 계단폭포식 폭기장치 등이 일반적으로 사용되는 방법이다. 분수식 폭기장치는 노즐을 통해 물을 공기 중으로 쏘아 올리는 장치다. 계단폭포식 폭기장치는 물을 넓게 펴서 얇은 막을 이루어 연속되는 계단으로 흘러내리게 함으로써 공기와 물이 접하는 표면적을 넓혀 산소가 물 속에 녹아들기 쉽게 해주는 시설이다.

확산식 폭기장치는 공기(혹은 순수산소)를 공기방울 형태로 수중에 공급해 주는 장치다. 공기방울의 크기는 폭기장치에 따라 아주 미세한 것부터 큰 것까지 다양한데 산소가 물에 녹아들기 위해서는 공기방울이 작을수록 유리하다.

현재 대부분의 제주지역 골프장 연못에 수질정화 및 수경관 향상을 목적으로 분수시설을 설치·운영중에 있다.

나. 침전(Sedimentation)

침전이란 수중에 떠있는 물질들이 중력에 의해 액체상으로부터 제거되는 작업을 말한다. 침전은 기존 처리시스템의 전처리, 여과처리 전에 응고되거나 분산(Emulsion)화된 물, 화학처리제로 연수화(軟水化)시킨 물의 응고, 그리고 철, 망간 등의 제거를 위해 이용된다.

골프장 연못의 경우 연못으로 유입되기 전 단계에 설치하여 물의 탁도를 저하시키는 거친 모래나, 점토성분, 고형물, 부유물들의 제거에 이용된다.

다. 여과(Filtration)

여과는 크게 두 가지 목적으로 이용된다. 첫째는 부유물 제거이고 둘째는 슬러지층을 두껍게 하지 않는데 이용된다. 부유물 제거에서 여과재는 침전되지 않고 남은 부유물들을 제거하는 것으로 물 속의 부유물이 여과재층을 통과할 때 여과재의 표면이나 내부에 부착하여 이루어진다.

라. 흡착(Adsorption)

흡착이란 두 상의 경계에서 물질이 집적되는 현상을 말한다. 물에 녹아있는 대부분의 용질은 상의 경계에 집적되는데 흡착은 이러한 성질을 이용하여 액체(물) 상으로부터 물질을 제거하는 것이다. 여러 가지 흡착제가 산업에 실용되고 있으나 활성탄소(Activated carbon)만이 저렴하면서도 비극성을 띤 흡착제이다. 극성의 흡착제는 극성인 물 자체를 흡착하므로 이용가치가 떨어진다.

현재 제주지역 E골프장에 활성탄을 이용한 유역정화조를 설치하여 운영중이며, 유역정화조의 단면도는 Fig. 1과 같다.

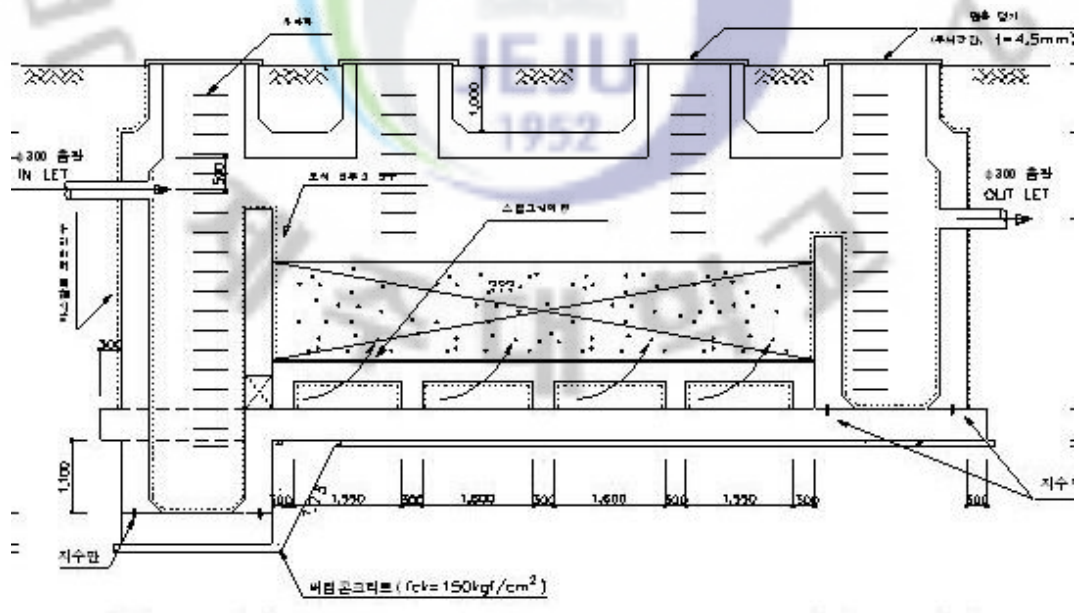


Fig. 1. Sectioned drawing of water-purifier tank in drainage basin.

(2) 화학적 처리방법

가. 응집 및 침전(Coagulation and precipitation)

침전은 Ca^{2+} , Mg^{2+} 그리고 PO_4^{3-} 이온 등을 제거하는 방법을 말하고 응집은 황산알루미늄[Aluminium, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$]와 염화철(FeCl_3), 석회 등의 응고제를 이용 현탁입자들을 불안정화시켜 입자들이 서로 뭉쳐 그 크기가 커져서 자연히 가라앉게 하는 방법을 말한다. 현탁입자들의 표면은 보통 전기적으로 음전하(-)를 띤다. 현탁입자들의 크기는 너무 작아(0.001-1 μm) 전기적으로 서로 반발하는 힘 때문에 뭉치기가 어렵다. 이런 안정된 상태에서 입자크기가 커질 수는 없다.

입자가 커져야만 중력에 의한 침전이나 여과 등 그 밖의 저렴한 가격에 의한 분리가 가능해진다. 이러한 원리를 적용하여 수질을 개선하는 방법이 응집과 침전이다.

현재 이 원리를 적용하여 국내에 인 제거용 여재(Phosphoremoval) 시스템을 사용하고 있다.

또한, 제주지역 C골프장을 비롯한 몇몇 골프장에 가압부상처리시설(NAC, Nature Alive Cycle System)을 설치·운영중에 있는데 NAC System은 저가압(2~3기압)으로 NAC 용해탱크 안에 산소, 오존, 탄산가스, 질소 등을 순간적으로 포화농도 이상으로 물에 용해시키는 기체용해장치로써 여기에서 발생한 초미세 기포와 응집제의 작용에 의하여 수중의 부유물질(SS)를 부상시켜 제거하는 방법이다.

효과는 단시간의 투시도의 개선 또는 부유물을 포함한 고형분의 질소, 인 등의 유기물을 제거시켜 T-N, T-P, BOD 등의 개선이 가능하며, 2000년 1월 東京都目黒區魂文谷池의 정화 Test에 의하면, BOD 88.9%, COD 82%, SS 91.3%, T-N 75.7%, T-P 96%의 제거효율을 보였으며, NAC System의 개요도와 설치 예시도는 Fig. 2와 같다.

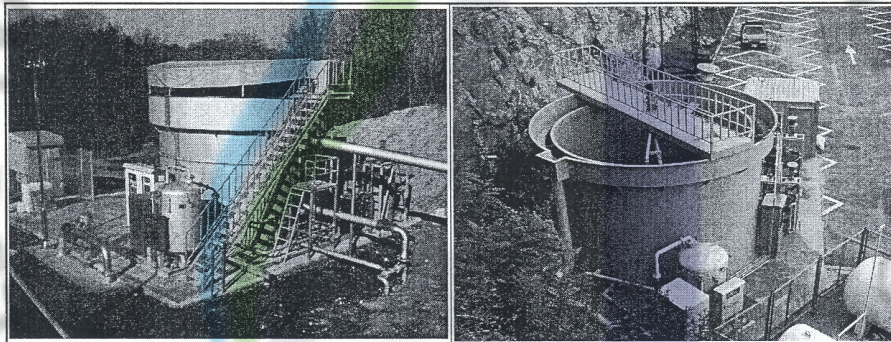
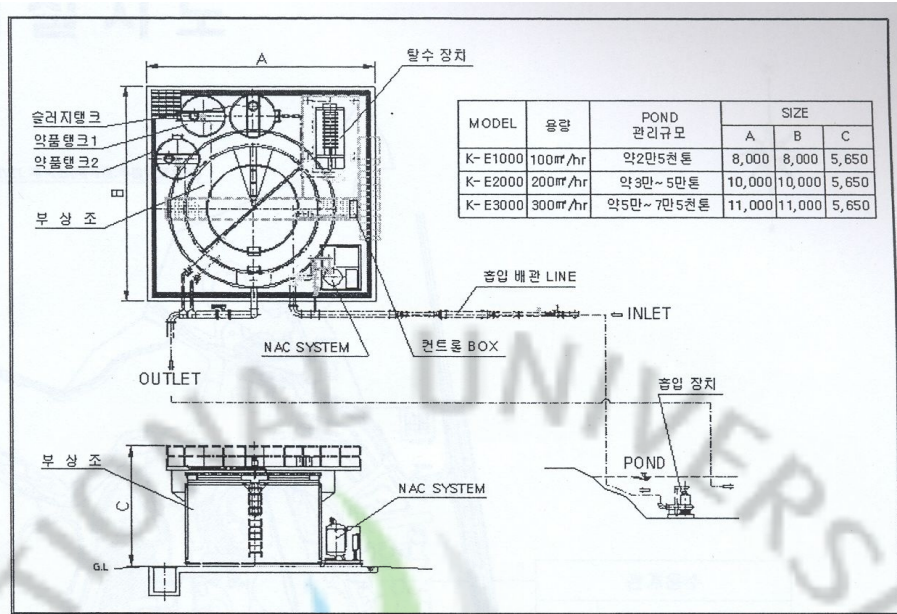


Fig. 2. Overview of NAC system and its installation.

나. 산화(Oxidation)

연못 내에 산소를 투입하여 조류의 영양물질을 산화시켜 연못물 내 부영양화를 제어하는 방식이다. 황 및 질소화합물의 산화에 의하여 악취를 제거하며, 수중 콜로이드성 물질의 전하를 중화시켜 연못 내 청정도를 높여주는 시스템이다.

현재 이 원리를 적용하여 국내와 제주지역 골프장 등에 많이 사용되고 있는 오존 제너레이터 시스템(Ozone Generator System)이 있다.

이 방법은 오존발생기에서 발생한 오존을 직접 저류지내에 불어넣어 오존이 가지는 강력한 산화력을 이용하여 용존한 유기물질을 산화하고, 탈색·탈취시키는 방법이다.

이 등(1998)은 오존을 이용한 골프장 연못의 수질관리 연구에서 오존처리와 농약의 분해특성 실험결과 오존에 의한 농약의 분해는 그 구조와 분자량에 따라 크게 차이가 나며 Fenitrothion의 경우 실험결과에 의하면 반감기는 5일 정도이며 오존을 주입한 경우는 3일 정도로 나타났고, Thiophanate-methyl의 경우 반감기는 48시간 이내이며, 오존을 주입한 경우와 주입하지 않은 경우 큰 차이가 없었다고 하였다. 그리고, 오존처리에 따른 SS의 저감효율은 77% 정도로 나타났고, 투시도의 개선은 30cm에서 50cm로 나타났으며, T-N의 저감효율은 약 30% 정도이고, T-P의 저감효율은 84% 정도로 나타났다고 하였다.

또한, 제주도의 골프장에서 가장 많이 사용되고 있는 농약 중 살충제의 한가지인 Fenitrothion은 약 30일간 오존을 주입한 결과 99%이상의 제거율을 보였고, 살균제인 Thiophanate-methyl은 98%, 제초제인 Mecoprop은 86% 정도로 나타났다고 하였다.

이와 같이 오존이 상당한 효과가 있으며, 농약의 반감기를 줄이고, 경관미 증대를 위한 조류 발생억제책으로 오존처리는 유효하다. 그러나, 적절한 주입량이 현장상황에 따라 틀리므로 주입제어 시스템의 개발과 저류지의 물을 양수하여 오존처리 후 조류를 분리·제거하고 물속의 잔존 오존을 제거한 후 저류지로 처리수를 유입시키는 또 다른 방법도 고려할 필요가 있다.

오존 처리시스템은 연못물을 잔디의 관개용수로 사용할 때 유기물질 및 금속의 산화와 병원균의 사멸을 도모할 수 있어 상당히 효과적인 방식이라 할 수 있다. 그러나, 잔류의 지속성 및 Phytoplankton의 사멸에 따른 먹이 사슬의 파괴에

의한 수생태계의 변화, 발생장치의 경제성 등에 대한 관점이 고려되어야하는 단점을 갖고 있다.

현재 제주도의 Z골프장을 비롯한 몇몇 골프장에 오존처리시스템을 설치하여 운영 중에 있는데 에어레이터에 따라 부유분수형 에어레이터(Surface Spray Aeration System), 수평분사형 에어레이터(Horizontal Aspiration System)과 저면폭기형 에어레이터(Bottom Diffusion)으로 크게 나뉘며 공정의 개요도는 Fig. 3과 같다.

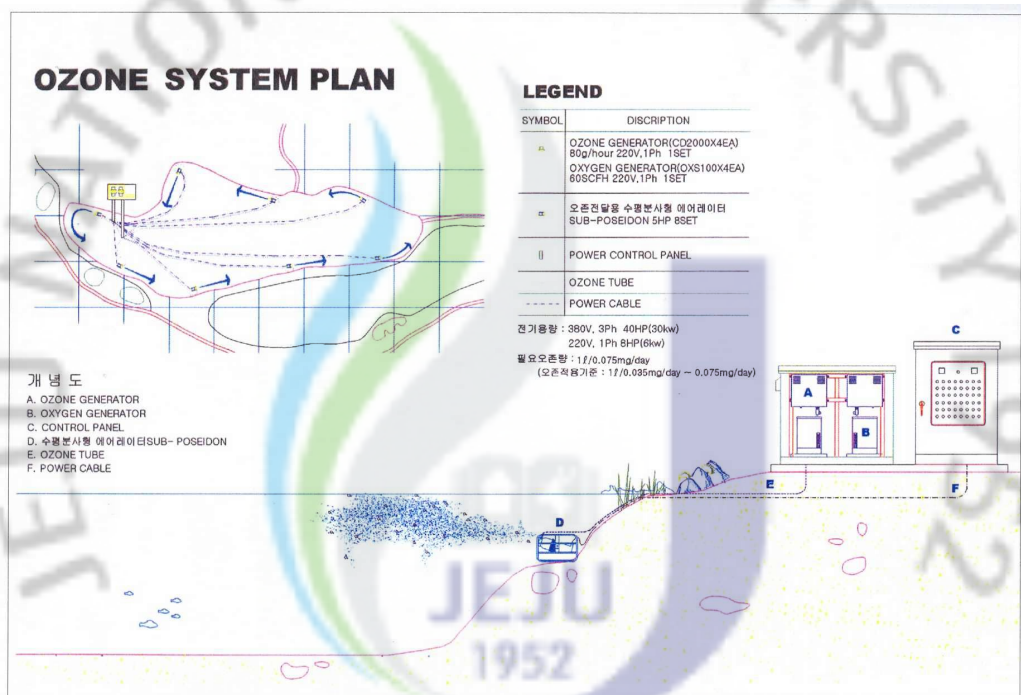


Fig. 3. Flow sheet of Ozone generator system.

(3) 생물학적 처리방법

가. 미생물 처리방법

미생물을 이용하는 방법은 미생물을 연못에 투입하여 부영양화현상을 일으키는 영양물질을 제거하고 미생물 자신은 물고기의 먹이가 되는 먹이사슬을 인위적으로 만드는 것이다. 이들 미생물은 영양물질인 질소와 인, 그리고 유기물의 분해와 관련이 있는 세균류(*Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp.)가 대부분이다.

또 다른 방법으로는 오, 폐수처리 시스템을 원용한 것으로 호기성 및 혐기성 미생물막을 이용한 연못 수질을 개선하는 방법이다. 그 구체적인 원리는 다음과 같다. 주로 세균류인 미생물은 성장하기 위해서 오수 중에 있는 유기물과 무기 이온들을 소비한다. 물질의 일부가 이화과정(Catabolism)을 통해 산화되고 여기서 생성된 에너지로 잔여물질을 동화작용(Metabolism)을 통해 새로운 세균세포를 조직화하는데 사용한다.

유기물과 그 밖의 다른 물질들은 오수 속에 부유 혹은 현탁입자나 용존상태로 존재한다. 입자들과 거대분자들은 세균들에 의해 바로 소화되는 것이 아니라 세포막을 거쳐 운반되기 전에 먼저 여러 개의 조각으로 가수분해된다. 예를 들어 녹말(포도당 분자의 중합체)은 세포의 효소에 의해 이당류인 포도당과 맥아당으로 가수분해된 후 세포내로 이송되어 지속적인 대사가 진행되는 것이다. 이러한 대사과정을 통해 수질을 정화시키는 원리이다.

이 원리를 이용해 골프장 연못의 수질정화를 할 경우, 일반 오·폐수 처리는 매일매일의 부하 변동량(유입되는 오염량)이 일정하나 골프장의 경우는 오염원의 유입이 지속적이지는 하나 주기적이지 못해 그 부하 변동량이 크다 할 수 있다. 부하 변동량이 클 경우 대사과정에서 생성된 미생물들이 과다 또는 과소하게 되어 그 기능을 제대로 발휘하지 못하는 단점이 있다.

세포들은 대사과정의 산물, 즉 생물학적 오수처리의 산물임을 명심해야한다. 매일 재생산되는 과량의 미생물을 소비할 방법이 강구되지 않은 경우에는 미생물 배양이 지나쳐 결국 실패할 것이다. 실패의 대다수는 중력 침전조에 대량 발생한 미생물 무리를 제때에 제거하지 못하거나 대량의 미생물이 요구하는 산소량을 충분히 공급하지 못함에 있다. 이런 경우에는 배출수의 유기물농도가 증가하게 된다.

나. 수생식물을 이용한 방법

각종 수생식물이 많은 양의 질소와 인 등의 영양염을 영양원으로 성장한다는 것에 착안하여 자연의 정화능력을 이용한 처리 기술이라 할 수 있다. 비교적 수질정화 능력이 뛰어난 정수식물(미나리) 및 유영식물(부레옥잠)을 이용한 것이 대표적인 방법이라 할 수 있다.

미나리를 이용한 수질정화 효과로는 $\text{NO}_x\text{-N}$ 및 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 영양염류의 농도를 각각 80%, 88% 감소시키는 효과가 있으며 산성 및 알카리의 pH 중화 능력이 뛰어나다. 생육개체 밀도가 $10\text{kg}/\text{m}^2$ 일 때 $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 경우 $0.78\text{mg}/\text{L}/\text{day}$ 를 보이고 $\text{NO}_x\text{-N}$ 의 경우는 생체밀도가 $7.29\text{kg}/\text{m}^2$ 일 때 $6.62\text{mg}/\text{L}/\text{day}$ 의 탁월한 흡수효과를 나타내고 있으며 카드뮴 또한 수중농도 보다 50~100정도 축적하는 효과를 보이고 있다.

부레옥잠의 경우는 권(1994)의 연구에 의하면 미나리와 같은 수준의 정화능력을 보이는 것으로 나타났다.

Ⅲ. 조사 및 연구 방법

1. 골프장의 빗물이용 현황, 농약 및 비료사용실태와 수질조사

1) 제주지역 골프장의 빗물이용과 농약 및 비료 사용 현황조사

제주도는 육지부 지방과 달리 큰 강이나 상시하천이 전무하여 지표수를 이용할 수 없는 특수한 지역인 관계로 상수도는 물론 생활용수, 농업용수, 공업용수까지도 지하수에 의존하고 있다. 제주도는 국토면적이 약 1.8%에 불과한 작은 도서지역이기 때문에 지하수 적정 개발량이 한정돼 있을 뿐만 아니라, 해수침투 등 지하수의 과도한 개발로 인해 지하수의 체계적 관리는 물론 지하수를 대체할 수 있는 수자원 이용방안이 절실해지고 있다.

이러한 지하수 개발의 한계를 극복하기 위해 제주도지역의 대체 수자원으로서 빗물이용의 필요성이 대두되고 있으며 특히, 골프장은 다른 업종과는 달리 물을 다량 이용할 수밖에 없는 특성을 지니고 있기 때문에 제주도에서는 1995년부터 골프장을 허가할 때 빗물이용시설을 시설하도록 하였고, 빗물이용이 활성화됨으로써 지하수 이용량을 감소시키기 위해 2005년부터 골프장별 빗물 이용량과 지하수 이용량을 매월 관계기관에 보고하도록 하고 있다.

본 연구에서 빗물이용 현황은 제주특별자치도 상하수도본부의 통계자료로부터 제주지역 골프장의 빗물이용 시설현황과 2007년부터 2009년 9월까지 빗물이용 실태를 인용하였다.

또한, 골프장 연못의 수질 오염인자 중 영양물질과 산소 부족은 자연적인 원인으로서 조사의 어려움은 물론, 정량화가 어려워 인위적인 원인인 골프장별 골프 코스에 뿌려지는 농약과 비료 사용량을 각각 2007년도 환경부의 농약사용량 통계자료와 2005~2007년까지 도내 8개 골프장의 협조를 받아 비료 사용량을 조사하였다.

2) 제주지역 골프장 연못의 수질특성 조사

제주지역 골프장 연못의 1년간 월별 수질 변화 패턴을 파악하기 위해 수질정화시스템이 설치된 골프장과 설치되지 않은 골프장 두 곳을 택하여 연못의 월별 수질 특성을 문헌조사를 통해 알아보았다.

자료 수집은 사후환경영향조사서 중 골프장 연못의 월별 BOD, SS, T-N, T-P 측정항목 파악이 가능한 2007년도 H골프장 연못과 2008년도 C골프장 연못의 1년간 월별 수질 특성을 조사하였고, 기후적 요인을 고려하기 위해 해당 골프장과 가장 가까운 곳(H골프장 : 서귀포시 표선면 가시리, C골프장 : 제주시 애월읍 유수암리)의 기상청 AWS(무인관측자료)를 이용하여 2007년, 2008년의 평균기온과 일일 강수량 자료를 조사하였다.

2. 골프장 선정 및 수질 분석 방법

1) 조사대상 골프장의 선정

제주도내 골프장 연못의 수질 현황을 파악하기 위해 우선 수질 정화시스템이 설치된 골프장과 설치되지 않은 골프장으로 나누었고, 수질 정화시스템이 설치된 골프장은 수질 정화공법별로 오존제너레이터시스템이 설치된 두 곳과 NAC시스템, 유역정화조 각각 한 곳의 골프장을 임의 선택하였으며, 연못물의 단순 순환 시스템을 제외한 별도의 수질 정화시스템이 없는 골프장 두 곳을 대조구로 하여 총 여섯 군데 골프장을 선택하여 조사하였다.

2) 수질 조사 지점 및 분석 방법

조사대상 골프장의 위치는 Fig. 4와 같고, 제주시 네 곳(봉개동, 영평동, 조천읍, 애월읍)과 서귀포시 두 곳(남원읍, 표선면)이며, 각 골프장 연못 중에서 수질 정화시스템이 설치된 곳은 각 시스템이 설치된 연못물과 설치되지 않은 연못물 두 곳을 선정하여 각각 채수하였고, 수질 정화시스템이 설치되지 않은 골프장은 임의로 두 곳을 채수하였으며, 각 연못의 현황은 Table 7과 같다.



Fig. 4. Location for sampling.

Table 7. Present situation of ponds by water purification system

Golf course	Water purification system	System installation	Maximum depth (m)	Barrier wall	Result of observation with naked eyes	Remarks
A	Ozone Generator System	Y(A-1)	4	비닐썩트	녹조 현상, 분수시설, 어류	시스템 가동여부 불확실, 방류수 유입
		N(A-2)	4	"	"	
B	"	Y(B-1)	3	"	분수시설	하수종말 처리장 연계 처리
		N(B-2)	2	비닐썩트, 콘크리트	"	
C	NAC System	Y(C-1)	4	비닐썩트	-	
		N(C-2)	2.5	"	부레옥잠, 이끼 조성	
D	유역 정화조	Y(D-1)	7.8	비닐썩트, 콘크리트	어류	방류수 유입
		N(D-2)	4	비닐썩트	약한 녹조현상, 분수시설, 어류	
E	단순 순환 System	N1(E-1)	3	"	녹조현상, 호안 식물, 어류	
		N2(E-2)	2	"	"	
F	"	N1(F-1)	3.4	"	낙엽 약간	방류수 유입
		N2(F-2)	2.5	"	", 분수시설	

특히, Table 7에서와 같이 B골프장은 골프장에서 발생하는 하수를 하수종말처리장에 연계하여 처리하고 있었으며, A골프장의 오존처리시스템 설치연못(A-1)과 D골프장의 유역정화조 미설치연못(D-2), F골프장의 수질정화시스템 미설치연못2(F-2)는 골프장의 개인하수처리시설에서 처리된 방류수가 유입되고 있었다.

그리고, 연못의 주요 수질 분석 항목과 분석 방법은 Table 8과 같다. 분석 항목은 환경정책기본법 제2조의 호소수 환경기준 항목 중 Chl-a와 대장균군을 제외한 수온, pH, DO, COD, SS, T-N, T-P를 선정하였고, 수온, pH, DO는 YSI-85와 CPC-401을 사용하여 현장 측정하였으며, COD, SS, T-N과 T-P 항목은 수질오염공정시험방법에 따라 분석을 행하였고, 연못물의 BOD/COD 비를 파악하기 위해 BOD 항목을 추가로 분석하였다.

Table 8. Water quality analysis item and method

Analysis item	Analysis method	Model name
pH	pH미터기	CPC-401
DO	용존산소측정기	YSI-85(YSI Inc., 2002)
Water temperature	"	"
BOD	잉클러이지드변법	
COD	과망간산칼륨에 의한 화학적산소요구량	
SS	유리섬유 여지법	
T-N	총질소-연속자동측정방법	BRAN+LUEBBE
T-P	총인-연속자동측정방법	"

참고로, 각 연못의 상태와 이해를 돕기 위해 채수 당시 각 연못의 사진을 Photo 1에 나타내었으며, 연못물의 채수는 2회에 걸쳐 2009년 11월 21~22일 및 2009년 12월 5~6일 양일간에 걸쳐 채수하였다.

첫 번째 채수시 강우는 없었으며, 11월 10일 일강수량 40mm와 11월 13일 45.5 mm의 비와 눈이 내렸고, 채수 전 무강우일수는 8일이었으며, 두 번째 채수시에도 강우는 없었고, 무강우일수는 22일였다.



A골프장 오존처리시스템 설치



A골프장 오존처리시스템 미설치



B골프장 오존처리시스템 설치



B골프장 오존처리시스템 미설치



C골프장 NAC시스템 설치



C골프장 NAC시스템 미설치



D골프장 유역정화조 설치



D골프장 유역정화조 미설치



E골프장 수질정화시스템 미설치1



E골프장 수질정화시스템 미설치2



F골프장 수질정화시스템 미설치1



F골프장 수질정화시스템 미설치2

Photo 1. Images of water-sampled ponds

IV. 결과 및 고찰

1. 골프장의 빗물이용 실태와 농약 및 비료 사용 특성

제주지역 골프장의 빗물이용시설(저류지) 현황과 2007년부터 2009년 9월까지 빗물이용 실태를 조사한 결과는 Table 9와 같다.

Table 9에서와 같이 제주지역 골프장의 빗물이용시설은 신설 골프장의 증가로 2007년 19개소에서 2009년 9월말 현재 24개소로 늘어났으며, 24개의 골프장에 총 183개의 저류지가 설치되어 있고, 총 저류량은 3,270천 m^3 에 달한다.

연도별로 살펴보면, 2007년도의 경우 19개의 골프장에서 총 9,038천 m^3 의 물을 사용하였는데, 지하수 이용량이 3,470천 m^3 이었고, 빗물이용량은 5,568천 m^3 으로서 총 용수 사용량의 61.6%를 빗물로 사용하였으며, 2008년도에는 빗물이용량이 58.9%로 감소하다가 2009년 9월 현재 총 용수 사용량 9,170 m^3 중 빗물이용량이 6,081 m^3 으로서 빗물이용량이 66.3%로 다시 증가하였다.

골프장별로 보았을 때, 2009년 1월~9월까지 40~50%의 빗물을 이용하는 골프장이 세 곳, 50~60%가 여섯 곳, 60~70%가 여덟 곳으로 가장 많았고, 70~80%가 네 곳, 80% 이상의 빗물을 이용하는 골프장도 네 곳이나 되었으며, 최소 42.8%에서 최대 88%까지 평균 66.3%의 많은 양의 빗물을 이용하는 것으로 조사되었다.

이는 2006년 7월 1일부터 시행되고 있는 「제주특별자치도 지하수관리 기본조례」 제37조 1항에 의하여 체육시설의 설치·이용에 관한 법률 시행령 별표1의 규정에 의한 골프장 중 부지면적이 6만제곱미터 이상인 골프장에 빗물이용시설 또는 지하수 인공함양저류지를 의무적으로 설치토록 하였으며, 2항에서는 빗물이용시설의 경우, 월간 용수사용량의 40%이상을 재활용하도록 규정하고 있으므로, 제주지역 골프장의 빗물이용량은 적절하다고 할 수 있다.

또한, 2009년 기준으로 42.8%의 최소 빗물이용률을 보인 크라운 골프장은 저류지의 저수용량이 92천 m^3 이며, 빗물이용시설을 강제하는 조례 시행 전에 준공하였

고, 골프장의 위치가 조천읍 선흘리로서 연평균 강수량이 비교적 적은 지역이다.

반면, 88.0%의 최대 빗물이용률을 보인 더클래식 골프장은 저수용량이 159m³로서, 빗물이용시설 관련 조례 제정 이후에 조성하였고, 남원읍 수망리에 위치하여 강수량이 많은 지역으로 빗물이용률은 저류지의 저수용량, 빗물이용 관련조례의 제정 시기와 골프장의 준공년도, 그리고 골프장이 위치한 지역의 강수량, 잔디의 종류 등과도 관계가 있음을 추정 할 수 있고, Table 9에서와 같이 저류지 규모와 빗물이용률은 뚜렷이 비례함을 알 수 있다.

Table 9. Present situation of rainwater use in golf courses in Jeju Island from 2007 to Sept. 2009 (unit : 10³m³)

Golf courses	Rainwater facilities		2007 (19 facilities)				2008 (22 facilities)				As of Sept. 2009 (24 facilities)			
	Storage capacity	No. of reservoirs	Sub-total	Underground water	Rain water	Rate of use (%)	Sub-total	Underground water	Rain water	Rate of use (%)	Sub-total	Underground water	Rain water	Rate of use (%)
Total	3,270	183	9,038	3,470	5,568	61.6	8,282	3,403	4,879	58.9	9,170	3,089	6,081	66.3
핑크스	67	8	746	307	439	58.9	636	299	337	53.0	568	191	377	66.3
레이크힐스	153	4	291	142	149	51.4	285	147	138	48.5	295	115	180	61.1
스카이힐	151	10	1,090	351	739	67.8	1,015	342	673	66.3	783	142	641	81.9
캐슬랙스	123	11	455	221	234	51.4	429	226	203	47.3	285	129	156	54.6
나인브릿지	102	8	303	104	199	65.7	285	114	171	60.0	283	90	193	68.3
엘리시안	236	11	607	234	373	61.4	573	283	290	50.6	715	299	416	58.1
로드랜드	70	11	392	140	252	64.3	420	180	240	57.2	361	143	218	60.4
라운	106	6	440	231	209	47.5	415	223	192	46.3	359	125	234	65.1
해비치	113	7	499	289	210	42.1	481	280	201	41.8	329	184	145	44.0
크라운	92	13	306	173	133	43.5	257	145	112	43.7	304	174	130	42.8
봉개프라자	113	2	229	45	184	80.4	147	38	109	74.2	125	19	106	84.7
블랙스톤	177	5	1,156	303	853	73.8	765	244	521	68.1	647	272	375	58.0
수농	45	4	132	62	70	52.8	148	72	76	51.4	157	76	81	51.5
제피로스	228	6	550	142	408	74.2	422	76	346	82.0	455	123	332	79.8
사이프러스	250	14	563	123	440	78.1	439	103	336	76.5	582	88	494	84.8
에버리스	146	6	586	332	254	43.3	425	211	214	50.3	385	199	186	48.3
라헨느	140	3	413	174	239	57.9	373	155	218	58.4	343	130	213	62.2
한라산	77	7	161	56	105	65.1	173	63	110	63.5	202	50	152	75.0
테디벨리	150	9	119	41	78	65.4	205	94	111	54.0	257	98	159	61.8
부영	160	5	-	-	-	-	157	29	128	81.5	217	44	173	79.9
세인트포	175	3	-	-	-	-	194	60	134	69.1	604	178	426	70.5
우리들메디칼	135	6	-	-	-	-	38	19	19	50.8	169	71	98	57.9
더클래식	159	10	-	-	-	-	-	-	-	-	549	66	483	88.0
제주	102	14	-	-	-	-	-	-	-	-	196	83	113	57.8

(Data : JeJu Special Self-Governing Province Water Supply & Drainage Management Headquarters)

다음으로, 2007년도 제주도내 골프장별 연간 농약사용량을 Table 10에 나타내었다.

Table 10. Yearly pesticide consumption of golf courses in Jeju Island(2007)

Golf courses	Location	No. of holes	Area(m ²)			Amount(kg)		Consumption Per Hectare(kg)	
			Sub-total	Sprayed area	Unsprayed area	Whole amount	Amount of component	Whole amount	Amount of component
오라	제주시연동	36	2,068,369	1,953,142	115,227	3,571.0	1,628.9	18.3	8.3
제주	제주시영평동	18	1,442,771	1,327,017	115,754	526.0	149.5	4.0	1.1
제주	제주시영평동	9	283,520	248,694	34,826	182.0	52.9	7.3	2.1
중문	서귀포시색달동	18	917,764	796,136	121,628	2,236.0	361.5	28.1	4.5
캐슬렉스	서귀포시안덕면	18	938,646	777,869	160,777	1,653.0	427.3	21.3	5.5
캐슬렉스	서귀포시안덕면	9	285,698	240,028	45,670	551.0	142.6	23.0	5.9
크라운	제주시조천읍	18	850,705	710,507	140,198	1,973.0	568.3	27.8	8.0
크라운	제주시조천읍	9	145,535	118,350	27,185	751.0	298.3	63.5	25.2
핑크스	서귀포시안덕면	18	874,521	789,363	85,158	1,030.0	356.0	13.0	4.5
핑크스	서귀포시안덕면	9	370,327	337,841	32,486	447.0	273.0	13.2	8.1
해비치	서귀포시남원읍	18	1,264,250	1,095,002	169,248	950.0	314.5	8.7	2.9
해비치	서귀포시남원읍	9	302,902	273,197	29,705	297.0	96.3	10.9	3.5
나인브릿지	서귀포시안덕면	18	1,057,914	874,375	183,539	1,138.0	369.4	13.0	4.2
나인브릿지	제주시애월읍	6	153,879	140,693	13,186	44.0	11.8	3.1	0.8
레이크힐스	서귀포시중문동	27	1,210,254	1,086,984	123,270	4,203.0	1,197.7	38.7	11.0
봉개프라자	제주시봉개동	9	442,376	394,643	47,733	297.0	109.7	7.5	2.8
라운	제주시한경면	27	1,334,429	1,165,090	169,339	2,075.0	784.7	17.8	6.7
엘리시안CC	제주시애월읍	27	1,178,458	1,049,253	129,205	2,146.0	472.4	20.5	4.5
엘리시안CC	제주시애월읍	9	413,285	381,380	31,905	495.0	125.3	13.0	3.3
제주스카이힐	서귀포시색달동	27	1,248,282	1,151,231	97,051	2,465.0	556.9	21.4	4.8
제주스카이힐	서귀포시색달동	9	469,652	445,960	23,692	831.0	183.3	18.6	4.1
로드랜드CC	제주시애월읍	27	1,221,808	1,022,870	198,938	2,049.0	797.9	20.0	7.8
블랙스톤	제주시한림읍	18	1,021,347	953,278	68,069	1,238.0	625.8	13.0	6.6
블랙스톤	제주시한림읍	9	424,780	392,024	32,756	619.0	312.9	15.8	8.0
수농	서귀포시표선면	9	263,196	215,004	48,192	411.0	182.2	19.1	8.5
제피로스	제주시조천읍	18	959,076	853,564	105,512	1,834.0	589.8	21.5	6.9
사이프러스	서귀포시표선읍	27	1,245,000	1,058,063	186,937	880.0	227.6	8.3	2.2
사이프러스	서귀포시표선읍	9	426,347	381,063	45,284	315.0	70.0	8.3	1.8
에버리스	제주시애월읍	18	766,032	615,561	150,471	1,421.0	325.5	23.1	5.3
에버리스	제주시애월읍	9	341,400	304,672	36,728	607.0	139.1	19.9	4.6
한라산CC	제주시오동동	18	654,245	576,947	77,298	828.0	196.8	14.4	3.4
제주라헨느	제주시봉개동	18	983,146	378,065	605,081	439.0	140.8	11.6	3.7
테디벨리	서귀포시안덕면	18	977,395	844,115	133,280	1,141.0	464.8	13.5	5.5
세인트포	제주시구좌읍	36	1,728,257	1,488,968	239,289	1,445.0	554.3	9.7	3.7
Total			28,265,566	24,440,949	3,824,617	41,088	13,107.8	590.9	189.8

(Data : Ministry of Environment)

Table 10에서와 같이 제주지역 골프장에서는 많은 양의 농약을 사용하고 있으며, 골프장의 규모가 제각각 다르기 때문에 연간 ha당 사용량으로 보았을 때 실물량이 3.1~63.5kg, 성분량이 0.8~25.2kg까지 골프장별로 큰 차이를 보였다.

Table 11. Total consumption pesticide and consumption per hectare of golf course in Jeju Island

Year	'02	'03	'04	'05	'06	'07
Total Consumption(kg)	18,392	22,526	28,563	38,036	38,271	41,212
Consumption(kg/ha)	18.4	19.8	18.5	21.6	18.9	16.8

Table 11에서와 같이 제주지역 골프장 수가 증가함에 따라 농약 총 사용량은 2002년 약 18톤에서 2007년 약 41톤으로 증가하였다. 또한 제주지역 골프장의 ha당 농약 사용량을 보면 점차 증가하다가 2005년을 기점으로 감소 추세를 보이고 있어 제주지역 골프장의 ha당 농약 사용량이 큰 폭으로 감소하고 있다는 사실을 알 수 있다.

그리고, 제주지역 골프장에서 사용하는 비료 사용 실태를 조사하기 위해 2005년부터 2007년까지 연간 비료 사용량(실물량) 파악이 가능한 제주도내 8개 골프장에 대한 비료 사용 현황을 조사하여 Table 12에 나타내었다.

Table 12에서 2005~2007년까지 골프장별 연간 비료 사용 총량은 평균 47,073~485,971kg까지 10배가 넘는 차이를 보였고, 농약사용량과 마찬가지로 연간 ha당 사용량으로 보았을 때 실물량이 353~4,628kg까지 비료사용량 또한 골프장별로 큰 차이를 보였다.

Table 12. Yearly fertilizer consumption of golf courses in Jeju Island

Golf courses	No. of holes	Area(m ²)			Year	Amount(kg)	Consumption per hectare(kg/ha)
		Sub-total	Sprayed area	Unsprayed area			
오라	36	2,068,369	1,953,142	115,227	2005	378,594	1,938
					2006	218,819	1,120
					2007	275,678	1,411
					average	291,030	1,489
제주 (회원제)	18	1,442,771	1,327,017	115,754	2005	61,729	465
					2006	46,840	353
					2007	32,651	246
					average	47,073	354
중문	18	917,764	796,136	121,628	2005	104,090	1,307
					2006	86,424	1,086
					2007	51,644	649
					average	80,719	1,014
캐슬렉스	27	1,224,344	1,017,897	206,447	2005	77,482	761
					2006	124,338	1,222
					2007	173,297	1,703
					average	125,039	1,228
핑크스	27	1,244,848	1,127,204	117,644	2005	477,705	4,238
					2006	458,529	4,068
					2007	521,681	4,628
					average	485,971	4,311
해비치	27	1,567,152	1,368,199	198,953	2005	89,964	658
					2006	99,590	728
					2007	93,176	681
					average	94,243	689
라운	27	1,334,429	1,165,090	169,339	2005	184,840	1,586
					2006	168,242	1,444
					2007	152,654	1,310
					average	168,578	1,446
엘리시안	36	1,591,743	1,430,633	161,110	2005	366,277	2,560
					2006	429,258	3,000
					2007	392,182	2,741
					average	395,905	2,767

아울러, 제주지역 골프장에서 사용하는 비료의 월간 사용 현황을 파악하기 위해 2007년도 H골프장과 2008년도 C골프장의 월간 비료 사용 현황자료를 바탕으로 비료의 주성분인 질소와 인 성분량으로 구분하여 월간 사용량을 Fig. 5~6에 나타내었다.

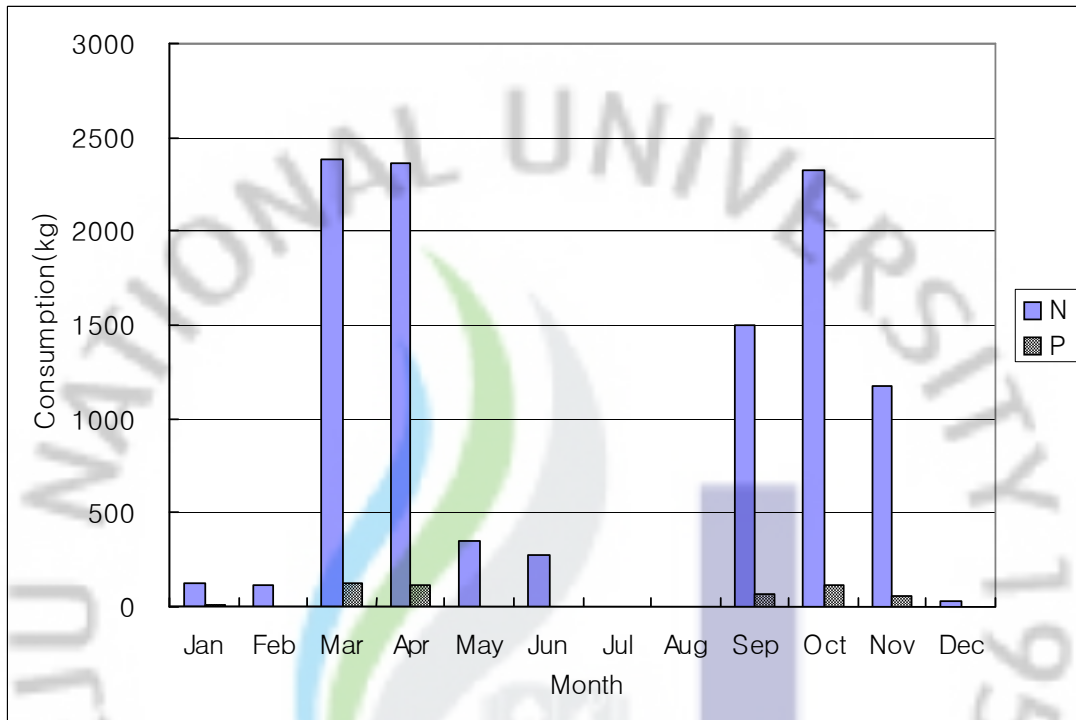


Fig. 5. Monthly fertilizer consumption by H-golf course in 2007.

Fig. 5에서 H골프장의 월별 비료 사용량은 질소와 인 성분 모두 봄과 가을철인 3, 4월과 9~11월에 많은 양을 사용하였음을 알 수 있는데, 이는 양 등(2008)의 제주지역 골프장의 농약·비료 사용 가이드라인 설정에 관한 연구에서 제주지역에서 운영중인 골프장 중 15개 골프장에서 실제 사용하는 비료 중 질소성분을 중심으로 한 비료의 연도 및 월별 사용 현황에서 질소성분 사용량은 주로 3~5월의 춘분기와 9~11월의 추분기에 가장 많이 사용하는 것으로 나타나 Fig. 5의 결과와 일치함을 알 수 있었다.

그리고, 해당 골프장의 그린에는 Bentgrass, 티, 웨어웨이에는 Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass가 식재되어 있고, 라프에는 Fescue류 등 코스 대부분이 한지형 잔디가 식재되어 있으며, 양 등(2008)의 연구결과에 따르면 한지형 잔디는 일반적으로

봄과 가을의 서늘한 시기에 잘 자라는 초종으로, 잔디의 생육특성상 이 시기에 집중 시비가 이루어지며, 여름철 고온기에 비료 효과가 지속되면 병 발생이 쉽고, 하고현상 (summer drought)에 의한 피해가 예상되므로 정상적인 잔디밭에서는 고온기에 가급 적 질소질 비료 시비를 하지 않는 것이 바람직하다고 하였다.

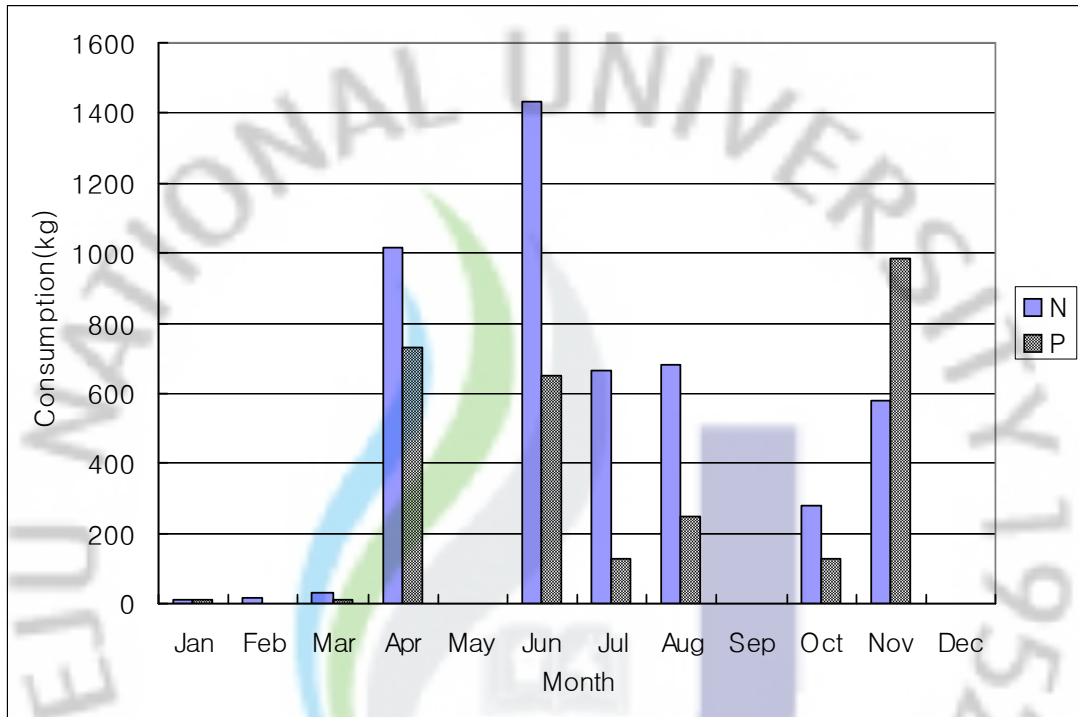


Fig. 6. Monthly fertilizer consumption by C-golf course in 2008.

Fig. 6은 C골프장의 2008년 월별 비료 사용량으로서 Fig. 5의 결과와 다른 양상을 보였으며, 질소성분은 4월과 6~8월, 10~11월에 많은 양을 사용하여 여름철에도 질소성분의 비료를 사용하였고, 인 성분 또한 다소 차이는 있지만 질소성분과 비슷하게 사용하였다.

이는 해당 골프장의 잔디초종이 그린, 티, 웨어웨이에는 H골프장과 같은 한지형 잔디가 식재되어 있지만, 라프에는 Zoysiagrass의 난지형 잔디가 식재되어 있는데, 난지형 잔디는 하절기에 집중 성장하는 바, Fig. 6의 6~8월의 여름철 비료 사용량이 높은 것은 바로 이 때문이며, 봄, 가을의 비료사용량은 그린 및 티의 초종 관리로 인한 사용량으로 분석된다.

이렇듯 Fig. 5~6에서 보는 바와 같이 제주지역 골프장의 월별 비료사용량은 골프장별로 다른데, 이는 골프장에서 자라는 잔디의 종류 및 관리상태, 그린, 티, 페어웨이, 라프 등 코스별로 뿌려지는 비료의 양이 다르고, 골프장이 위치한 지역의 고도, 기온 및 강수량, 토양의 질 등에 따라 달라지기 때문이다.

2. 골프장 연못의 수질 특성

1) 골프장 연못의 월별 수질 특성

제주지역 골프장 연못물의 월별 수질 특성을 파악하기 위해서 우선 기후적 요인을 고려하기 위한 평균기온과 일일 강수량 자료를 Fig. 7~Fig. 10에 정리하였고, Table 13~14에는 각 연못의 BOD, SS, T-N, T-P의 월별 수질 분석 결과를 나타내었다.

Fig. 7에서 2007년 1년 동안 기온변화를 보면 1월의 평균기온은 4.0℃였으나 8월에는 25.4℃ 상승하여 29.4℃의 일평균 최고기온을 보였고, 동절기인 12월에는 일평균 최저기온이 1.1℃로 8월에 비해 28.3℃ 하강하는 현상을 보였다.

반면 일일강수량은 Fig. 8과 같이 제주전역을 강타한 제11호 태풍 나리의 영향으로 2007년 9월 15일과 16일 양일간에 걸쳐 1일평균 150mm가 넘는 최대강수량을 보였다.

Fig. 9에서 2008년 1년간 기온변화를 보면 1월의 평균기온은 2.3℃였으나 8월에는 24℃ 상승하여 26.3℃의 일평균 최고기온을 보였고, 동절기인 12월에는 일평균 최저기온이 -0.7℃로 8월에 비해 27℃ 하강하는 현상을 보였다.

그리고, 일일강수량은 Fig. 10과 같이 5월 28일 132mm로 최대값을 보였고, 장마기간인 6월 14일부터 7월 2일까지 평균 19mm로 지속적인 강우형태를 보였으며, 나머지는 월별로 비교적 고른 강수량 값을 보였다.

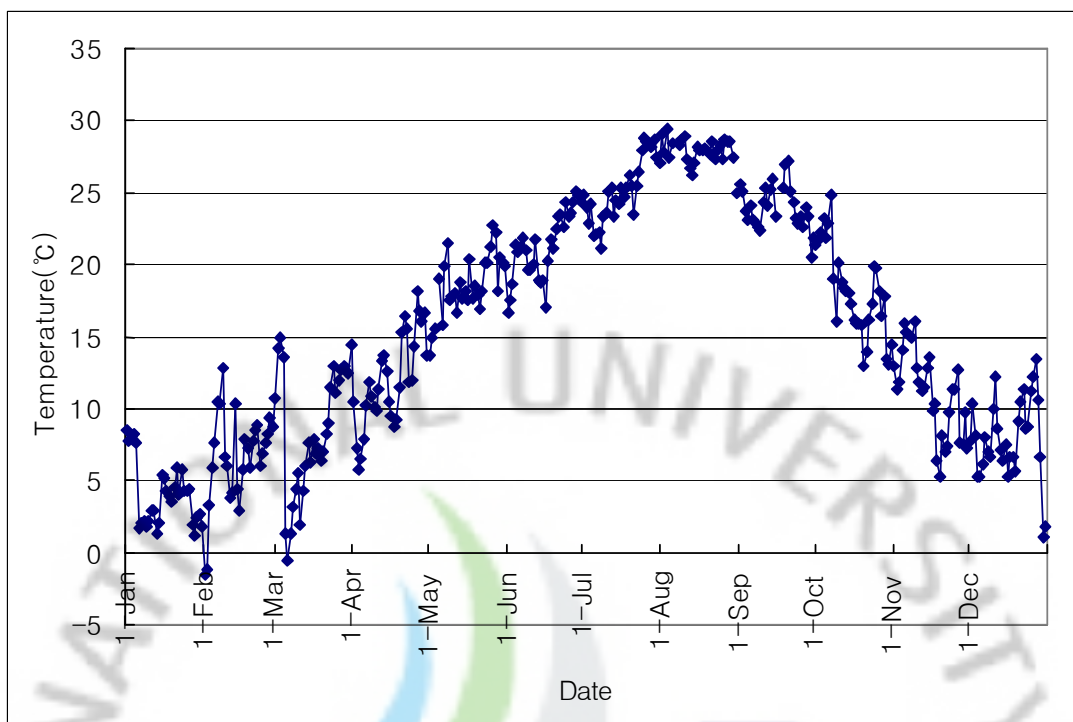


Fig. 7. Daily temperature changes at Gasiri district during 2007.

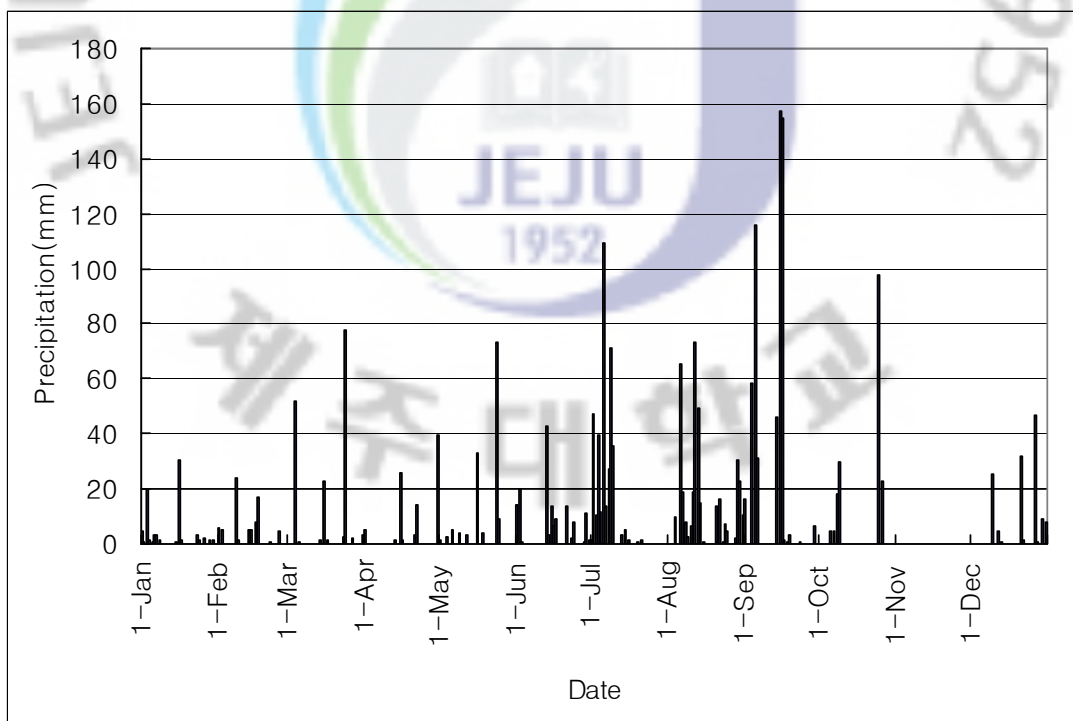


Fig. 8. Daily rainfall changes at Gasiri district during 2007.

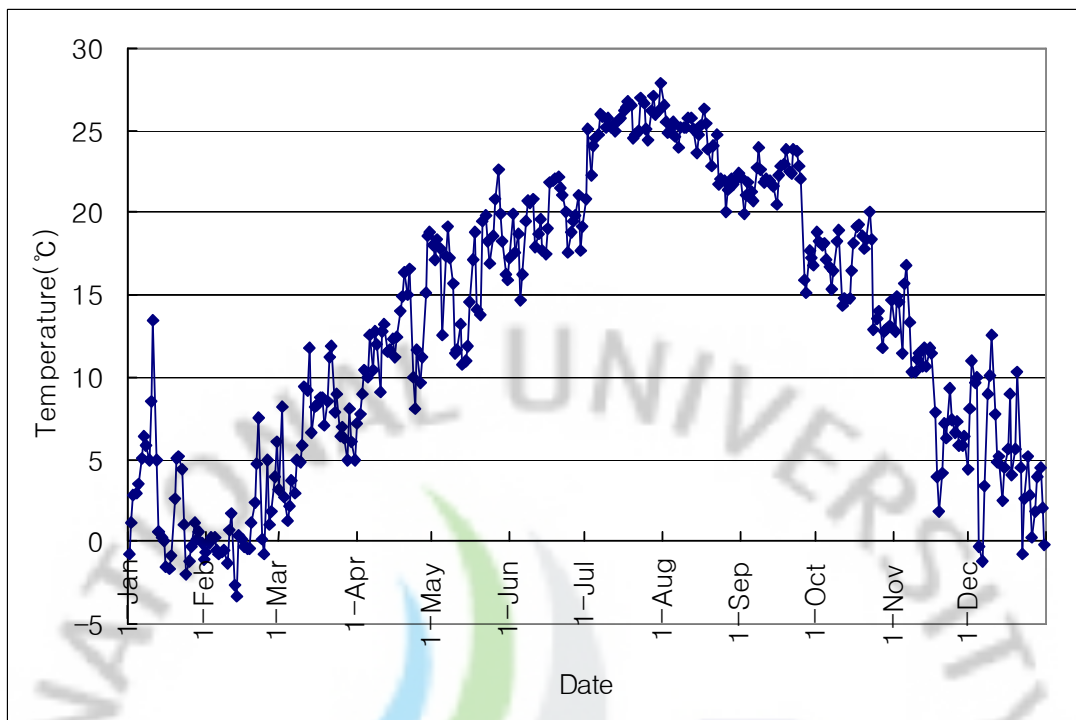


Fig. 9. Daily temperature changes at Yusooamri district during 2008.

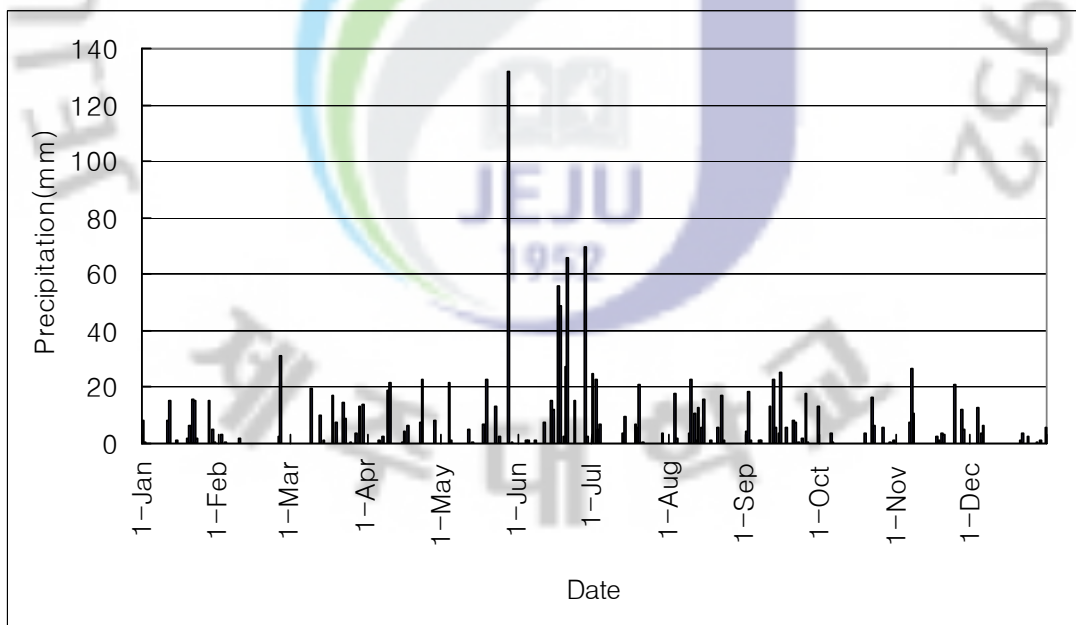


Fig. 10. Daily rainfall changes at Yusooamri district during 2008.

Table 13. Result of water quality analysis in pond of H-golf course

(unit : mg/L)

Item Date of test	BOD	SS	T-N	T-P
'07. 1. 29	1.6	0.4	2.402	0.028
'07. 2. 27	1.1	0.8	2.126	0.023
'07. 3. 26	1.3	0.7	2.340	0.025
'07. 4. 30	2.0	1.1	2.551	0.031
'07. 5. 31	1.7	1.6	2.602	0.028
'07. 6. 20	2.5	1.2	2.515	0.033
'07. 7. 24	2.1	1.7	2.245	0.044
'07. 8. 25	2.4	1.9	1.480	0.078
'07. 9. 27	1.7	1.2	1.901	0.055
'07. 10. 29	3.0	3.6	0.674	0.075
'07. 11. 20	2.1	2.7	1.464	0.534
'07. 12. 11	4.2	4.4	1.988	0.690

(Data : Environmental impact evaluation report of H-golf course during 2007)

Table 14. Result of water quality analysis in pond of C-golf course

(unit : mg/L)

Item Date of test	BOD	SS	T-N	T-P
'08. 1. 30	5.9	9.6	6.303	0.323
'08. 2. 27	4.4	9.6	2.579	0.333
'08. 3. 19	2.7	2.0	2.963	0.675
'08. 4. 28	8.9	15.8	4.596	0.988
'08. 5. 29	1.9	14.7	3.423	0.493
'08. 6. 23	4.2	9.6	3.350	0.723
'08. 7. 28	3.0	15.6	3.754	0.476
'08. 8. 28	2.9	11.2	8.815	1.807
'08. 9. 30	2.5	13.2	3.361	1.231
'08. 10. 27	8.5	20.0	3.077	0.624
'08. 11. 28	5.3	22.4	11.216	0.864
'08. 12. 15	3.9	11.6	6.909	0.589

(Data : Environmental impact evaluation report of C-golf course during 2008)

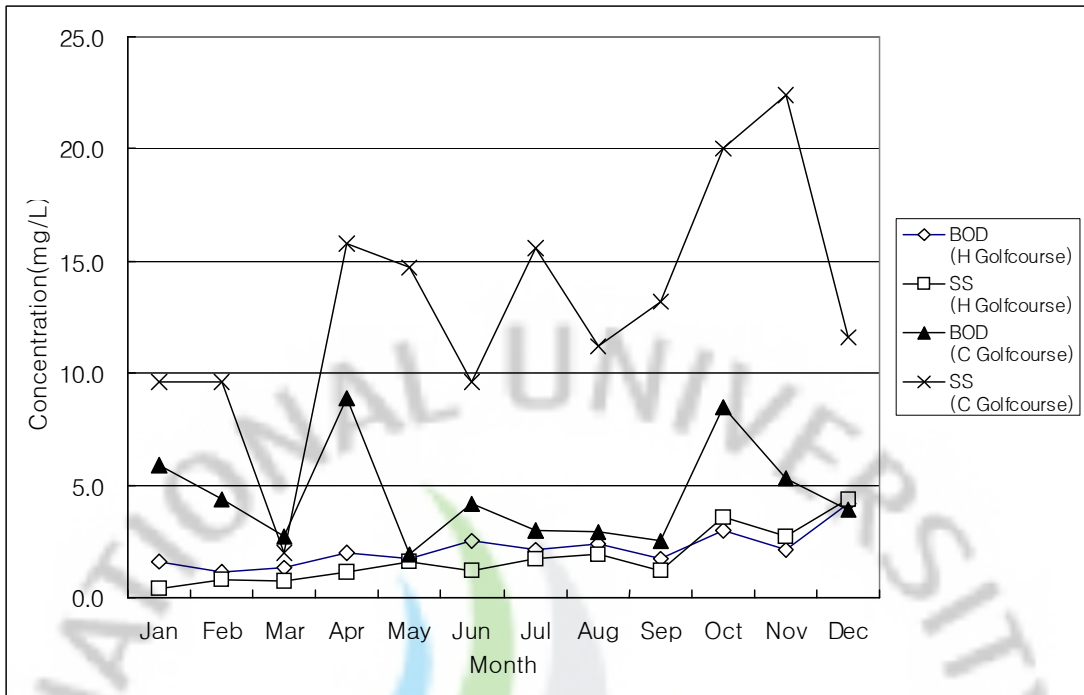


Fig. 11. Monthly variations of BOD and SS.

Fig. 11에 H골프장과 C골프장 연못의 월별 BOD, SS의 수질 변화 결과를 나타내었다.

H골프장 연못의 BOD와 SS 측정값은 1월에서 12월까지 0.4~4.4 mg/L 범위 안에서 조금씩 증가하는 양상을 보였으나, C골프장 연못의 BOD 측정값은 5월에 1.9 mg/L로 가장 낮았고, 4월과 10월이 각각 8.9 mg/L와 8.5 mg/L로 높게 나타났으며, SS는 3월에 2.0 mg/L로 가장 낮았고, 4월에 12.8 mg/L, 7월에 15.6 mg/L, 10월과 11월에 각각 20.0 mg/L와 22.4 mg/L로 부유물질이 매우 많은 것으로 나타났다.

골프장별로 고찰하면, H골프장 연못이 BOD 평균 2.1 mg/L, SS 평균 1.8 mg/L 이고, C골프장 연못은 BOD 평균 4.5 mg/L, SS 평균 12.9 mg/L로서 BOD는 2배 이상, SS는 7배 이상의 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

이는 조사 연못 두 곳이 모두 개인하수처리시설 방류수를 저류하는 곳이지만 H골프장의 경우, 연못에 오존처리시스템이 설치되어 있으나, C골프장은 별도의 수질정화 시스템이 설치되지 않음에 따라 수질정화 시스템이 설치된 H골프장 연못의 BOD와 SS 측정값이 양호하게 나타난 것으로 판단된다.

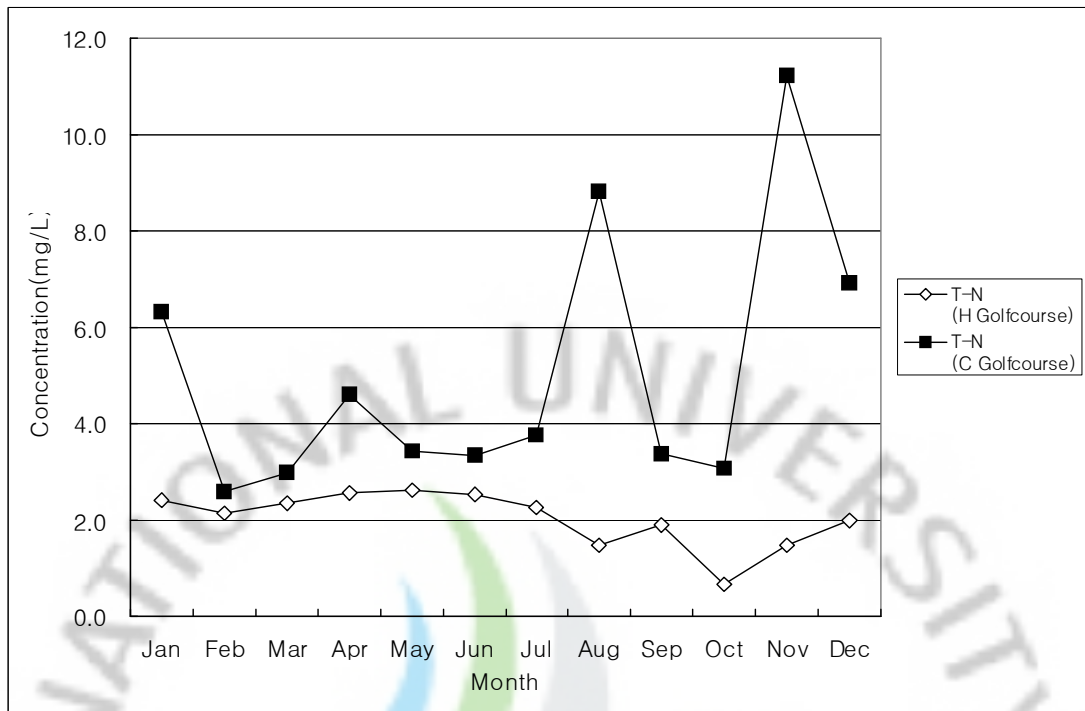


Fig. 12. Monthly variations of T-N.

H골프장과 C골프장 연못의 월별 T-N 수질 변화 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 12에서도 Fig. 11과 마찬가지로 수질정화시스템이 설치된 H골프장 T-N 값이 0.674~2.602 mg/L까지 평균 2.024 mg/L의 측정값을 나타냈으며, 수질정화시스템이 없는 C골프장의 T-N 측정값은 2.579~11.216 mg/L까지 평균 5.029 mg/L로 H골프장에 비해 2배 이상 높게 나타났다.

특히, T-N의 월별 수질 변화와 관련하여, 양 등(2007)은 라이시메타를 이용한 골프장 사용 농약·비료의 지하수오염 잠재성 평가에서 골프장 환경에서 비료의 용탈특성을 알아보기 위해 골프장과 유사한 그린모형에서의 라이시메타에 대한 용탈수 중 비료성분 분석을 통해 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 연간추이를 살펴보면, 연구초기시점에는 비교적 높은 농도를 보였으나 4월 초부터는 점차 감소하는 추세를 보여 미미한 변화폭으로 낮은 농도를 유지하다가 10월 초부터는 점차 상승하는 추세를 보였다고 하였으며, 이는 잔디성장시기에 맞추어 질소의 흡수가 많아지는 4월초부터 10월 중순사이에는 잔디에 의한 질소의 흡수로 인해 용탈수 중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 낮아지기 때문인 것으로 보았다.

또한 Daniel 등(1995)은 잔디층으로부터 용탈되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 미치는 염분의 영향이란 연구에서 늦겨울과 이른 봄 사이에서는 잔디의 생육이 느리게 됨으로써 그에 따라 생육에 필요한 질소의 요구량이 적게 되어 용탈수 중 질산성질소의 농도가 높게 나타난다고 하였다.

앞의 T-N 월별 수질 변화 결과에서도 골프장의 용탈수와 연못물이라는 차이점은 있지만 양 등(2007)의 실험결과와 매우 유사한 결과를 보였고, Daniel 등(1995)의 연구결과에 비해 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도의 상승이 시기적으로 빠른 경향이 있지만 유사한 결과를 보였는데 이것은 환경적인 요인과 잔디의 생육상태에 따른 차이로 인하여 시기적인 차이가 발생한 것으로 사료된다.

특히, 월별 질소성분의 비료사용량과 연못의 수질분석과의 관계를 파악하기 위해 Fig. 5~6와 Fig. 12를 비교하였을 때, H골프장은 비료사용량과 큰 관계가 없었으며, C골프장에서 4월, 11월과 8월에 높은 T-N 측정값을 나타낸 것에 대해 Fig. 5의 봄, 가을철 질소성분 비료사용량과 약간의 상관관계는 있지만, 뚜렷하게 비료 사용에 따른 T-N의 전체 수질 변화로는 보기 어렵다.

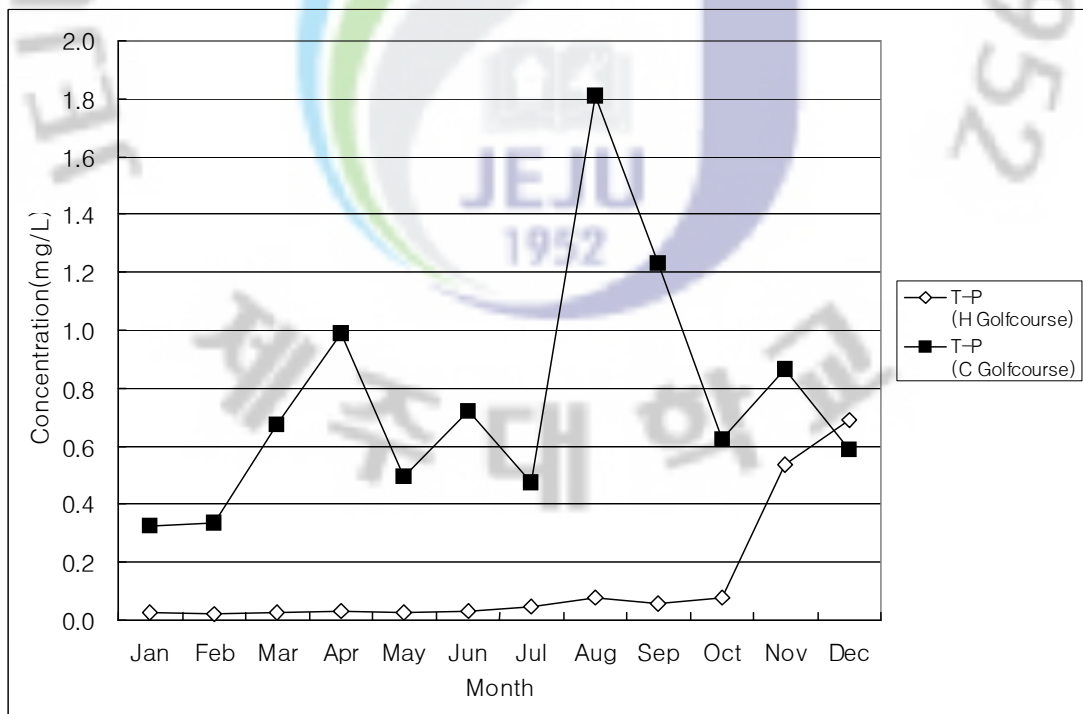


Fig. 13. Monthly variations of T-P.

Fig. 13에 H골프장과 C골프장 연못의 월별 T-P 수질 변화 결과를 나타내었다.

T-P의 경우도 BOD, SS 및 T-N과 마찬가지로 수질정화시스템이 설치된 H골프장이 0.023~0.690 mg/L까지 평균 0.137 mg/L의 측정값을 나타냈으며, 수질정화시스템이 없는 C골프장의 T-P는 0.323~1.807 mg/L까지 평균 0.761 mg/L로 H골프장에 비해 5배 이상 높게 나타났다.

또한, H골프장의 경우, T-P는 1월에서 7월까지의 0.050 mg/L 이하의 측정값을 보이다가 8월부터 조금씩 상승하여 11월 0.534 mg/L, 12월 0.690 mg/L까지 상승하였는데, T-N과 마찬가지로 Fig. 5의 월별 인성분의 비료사용량과 큰 관계는 없어 다른 요인에 의한 T-P의 증가로 판단되고, C골프장의 T-P는 Fig. 11의 T-N 측정값과 비슷한 변동 결과를 보이며 특히, 8~9월에 높게 나타났는데, 이 역시 Fig. 6의 인성분 비료사용량과 비교할 때 큰 상관관계는 없었고, 여름철 연못의 부영양화와 녹조현상으로 추측된다.

그리고, 골프장 연못의 수질에 영향을 미치는 요인은 크게 입지적 측면, 기후적 측면, 관리적 측면, 설계적 측면으로 분류할 수 있다. 입지적 요인은 연못 유역의 크기, 형상, 경사도, 토지이용, 토양조건 등이 있으며 기후적 요인으로는 강우의 여부, 강우량, 강우강도, 강우지속시간, 강우빈도 및 시기, 관리적 요인으로는 농약이나 비료의 살포량, 살포시기, 살포빈도, 살포장소, 연못수의 보충량 및 보충시기, 보충수의 수질, 연못 수질관리방법 등이 있으며 설계적 요인으로는 연못의 규모나 형상, 담수량, 수심 그리고 식생 등 다양한 요인이 있다고 판단된다.

여기에서 관리적 요인과 기후적 요인이 동일한 조건이라 할지라도 이들 두 요인이 어떻게 결합하느냐에 따라 수질에 미치는 영향은 크게 달라질 수 있다. 이처럼 모든 골프장, 특히 같은 골프장일지라도 연못에 따라 모든 상황(예를 들어 동일한 양의 비료를 살포했다더라도 연못을 중심으로 어느 정도 떨어져 있는 지역이나에 따라 연못에 유입되는 양이 다르기 때문)은 다르게 된다.

따라서 위의 모든 영향을 고려하지는 못하였으나, Fig. 11~13에서 보는 바와 같이 제주지역 골프장 연못 두 곳의 월별 수질 특성을 조사한 결과, 수질정화시스템이 설치된 골프장 연못이 설치되지 않은 골프장 연못에 비해 수질이 매우 양호하였음을 알 수 있었다.

2) 수질정화시스템별 수질 특성

수질정화시스템별로 선정된 제주지역 골프장 연못물의 수질 분석 결과를 Table 15~16와 Fig. 14~25에 나타내었다.

Table 15. Results of water quality analysis by respective water purification method in Nov. 2009

Golf Course	Water purification system	System Installation	Measurement item							
			water temperature (℃)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
A	Ozone Generator System	유	8.1	6.9	9.7	3.4	15.2	22.8	2.204	0.653
		무	7.4	6.9	8.3	2.7	14.4	6.6	0.962	0.280
B	"	유	7.1	7.0	8.5	1.1	4.0	0.2	0.161	0.017
		무	7.9	7.0	8.9	1.0	4.0	0.6	0.161	0.035
C	NAC System	유	8.3	6.9	9.2	2.6	8.0	3.4	0.772	0.074
		무	8.4	6.8	10.6	1.8	4.6	0.4	0.254	0.032
D	유역 정화조	유	9.0	6.9	8.8	2.1	4.2	1.4	1.156	0.231
		무	8.5	7.0	8.0	2.4	7.6	3.4	2.973	0.441
E	단순 순환 System	무1	8.2	7.0	10.3	3.8	12.8	9.6	0.716	0.081
		무2	8.5	7.0	9.8	3.3	8.8	10.0	0.775	0.100
F	"	무1	6.1	7.0	9.1	1.5	7.0	0.4	1.186	0.240
		무2	6.9	7.0	7.3	1.3	6.0	0.4	1.699	0.572

Table 16. Results of water quality analysis by respective water purification method in Dec. 2009

Golf Course	Water purification system	System Installation	Measurement item							
			water temperature (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
A	Ozone Generator System	유	8.2	7.0	9.5	1.3	9.6	5.0	2.186	0.611
		무	7.2	6.9	8.0	0.7	12.8	7.2	0.764	0.212
B	"	유	7.5	7.0	8.7	0.5	3.8	0.1	0.234	0.168
		무	7.7	7.0	9.2	0.8	4.2	0.2	0.237	0.050
C	NAC System	유	8.5	6.9	8.9	1.5	7.6	2.0	0.731	0.049
		무	8.4	6.9	9.8	0.7	5.2	1.4	0.348	0.038
D	유역 정화조	유	8.3	7.0	8.5	0.7	2.4	2.0	0.678	0.135
		무	8.5	6.9	8.2	2.4	6.0	6.0	2.568	0.472
E	단순 순환 System	무1	8.0	7.0	9.6	6.4	15.2	6.0	0.822	0.095
		무2	8.2	7.0	8.7	5.1	12.8	15.3	2.610	0.273
F	"	무1	5.9	6.9	9.4	0.4	6.2	0.2	1.084	0.222
		무2	6.4	7.0	7.6	0.1	4.8	0.1	1.236	0.484

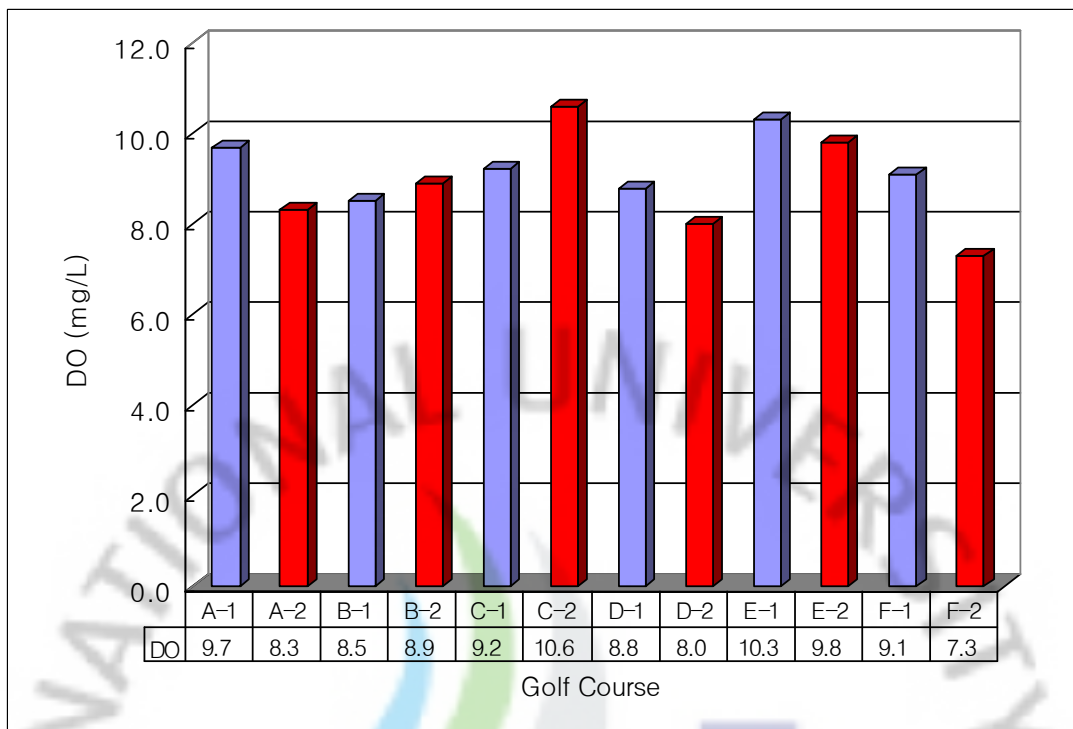


Fig. 14. Result of DO analysis conducted in Nov. 2009.

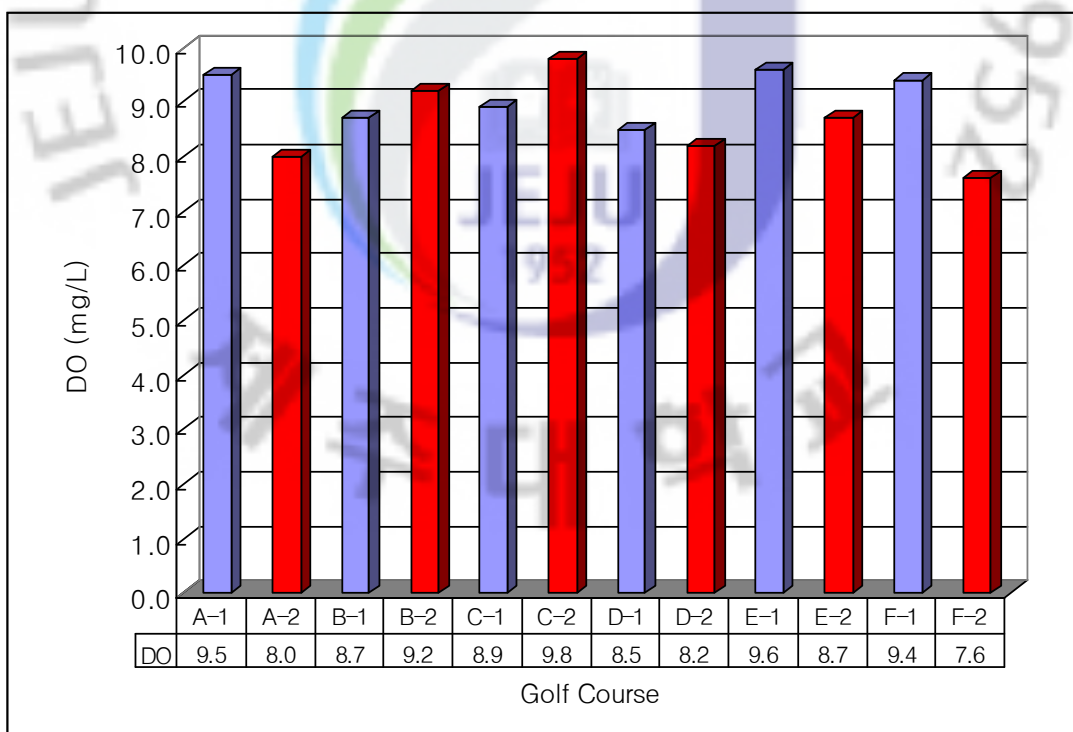


Fig. 15. Result of DO analysis conducted in Dec. 2009.

1차 및 2차 용존산소(DO)의 분석 결과를 Fig. 14~15에 나타내었다.

수중의 용존산소(DO)는 대기 중 산소의 자연적 용해, 조류나 수생식물의 광합성 작용에 의하여 증가하고, 수중 불순물의 환원작용, 동식물의 호흡작용 및 미생물에 의한 유기물의 분해작용 때문에 감소한다(김좌관, 2003). 따라서 DO농도를 파악하는 일은 해당 수체의 수질이 좋고 나쁨을 판단하는 가장 중요한 지표 중의 하나이다.

DO 분석 결과는 1차 분석시 F골프장의 수질정화시스템 미설치연못(F-2)의 7.3 mg/L를 제외하고는 전체 골프장 연못에서의 DO 측정값이 호소수질환경기준의 Ia등급인 7.5 mg/L를 상회하였는데, 이는 연못물의 순환시스템으로 인해 대기 중 산소의 용해가 증가된 것으로 판단된다.

그리고 C골프장의 NAC 시스템 미설치연못(C-2)은 1, 2차 채수시 육안으로도 연못의 바닥이 보일만큼 수질이 매우 양호하였고, DO값이 평균 10.2 mg/L로 가장 높게 나타났는데, 이것은 해당연못에 자라고 있는 수중 정화식물인 부레옥잠의 광합성에 의해 수중 용존산소가 증가된 것으로 판단된다.

특히 A 및 E골프장의 경우 육안으로 관찰한 결과 외에 COD 값이 상대적으로 매우 높게 나타났고, T-N농도가 비교적 높게 나타나는 것으로 보아 조류의 광합성으로 인한 DO의 포화에 의한 것으로 판단된다.

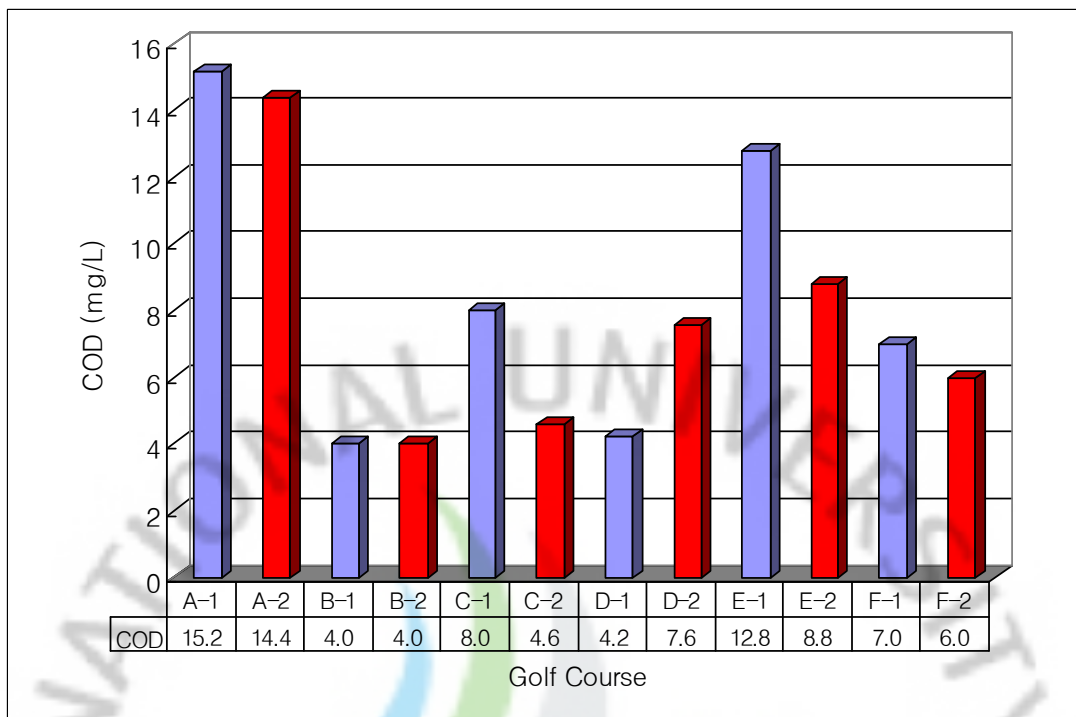


Fig. 16. Result of COD analysis conducted in Nov. 2009.

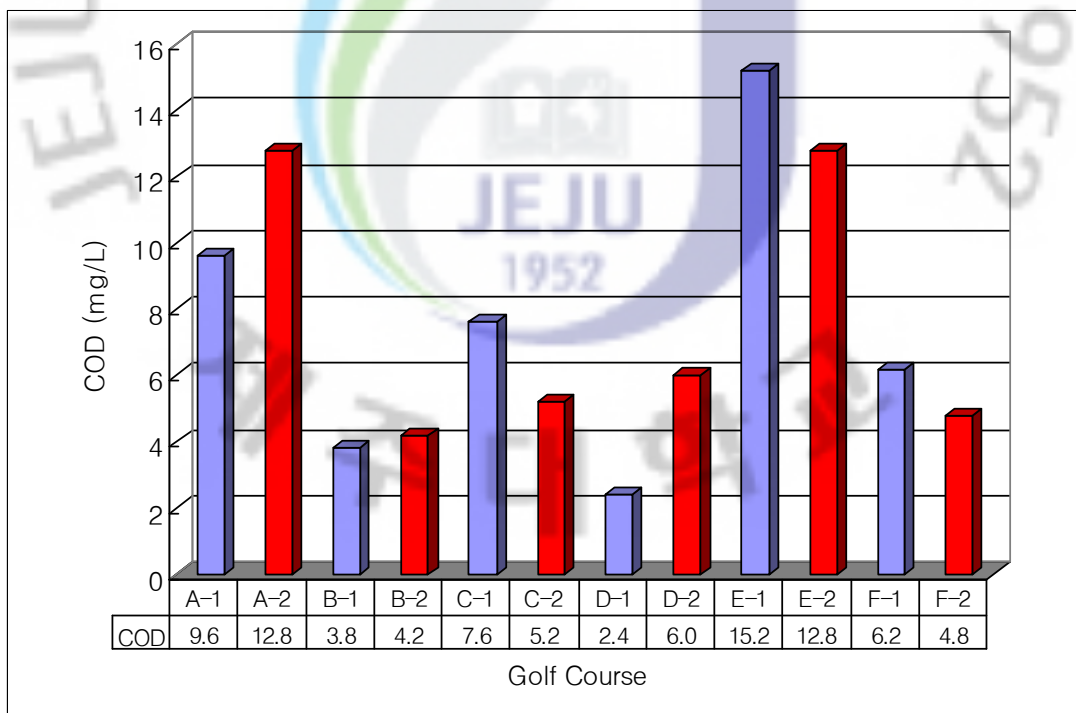


Fig. 17. Result of COD analysis conducted in Dec. 2009.

화학적산소요구량(COD)은 1차 분석시 Fig. 16에서 보는 바와 같이 B골프장의 연못물 2곳이 4.0 mg/L로 가장 낮았으며, A골프장이 평균 14.8 mg/L, E골프장이 평균 10.8 mg/L로 높게 나타났다.

2차 분석결과인 Fig. 17에서도 1차 분석시와 비슷한 양상을 보였으며, B골프장 연못 2곳이 평균 4.0 mg/L로 1차 분석시와 같았고, A골프장이 평균 11.2 mg/L로 1차 분석시에 비해 조금 낮았으나, E골프장이 평균 14.0 mg/L로 가장 높은 측정값을 보였다.

연못별로 고찰하면 오존처리시스템을 가동하는 B골프장 연못이 호소수질환경 기준 II등급인 4.0 mg/L였고, 1차 분석시 C골프장의 NAC시스템 미설치연못(C-2)과 1, 2차 분석시 D골프장의 유역정화조 설치연못(D-1), 그리고, 2차 분석시 F골프장 수질정화시스템 미설치연못2(F-2)에서 호소수질환경기준 III등급인 5.0 mg/L이하로 나타났다.

그리고, 1, 2차 분석결과 C골프장의 NAC시스템 설치연못(C-1), D골프장의 유역정화조 미설치연못(D-2)과 F골프장에서 호소수질환경기준 IV등급인 8.0 mg/L 이하로 나타났고, VI등급인 10.0 mg/L를 초과하는 곳도 1, 2차 분석결과 각각 세 군데나 되었으며, 명확한 사유는 알 수 없으나 연못물 순환시스템 외에 별도의 수질정화시스템이 없는 E골프장의 경우, 같은 조건인 F골프장에 비해 COD값이 상당히 높아 연못 간 COD 측정치에 많은 차이가 있었다.

따라서, 기후적 요인, 관리적 요인 등 연못 수질에 미칠 수 있는 여러 가지 인자를 제외한 골프장 연못의 수질정화시스템으로만 보았을 경우, B골프장에서 운영 중인 오존처리시스템과 D골프장의 활성탄을 이용한 유역정화조, 그리고 C골프장의 NAC시스템이 COD 제거에 효과가 있는 것으로 나타났다.

또한, A골프장에서 1차 분석시 평균 14.8 mg/L, 2차 분석시 11.2 mg/L로 COD 측정치가 높게 나타난 것은 오존처리시스템을 설치하였으나 가동 여부가 불확실한 것에 따른 결과로 판단된다.

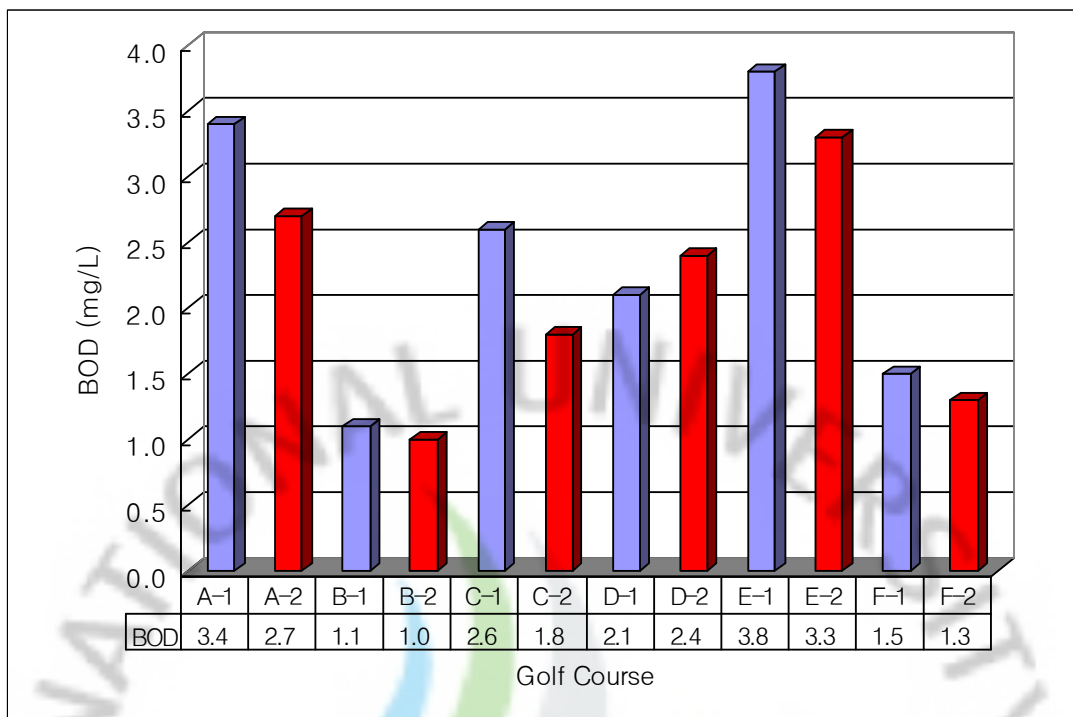


Fig. 18. Result of BOD analysis conducted in Nov. 2009.

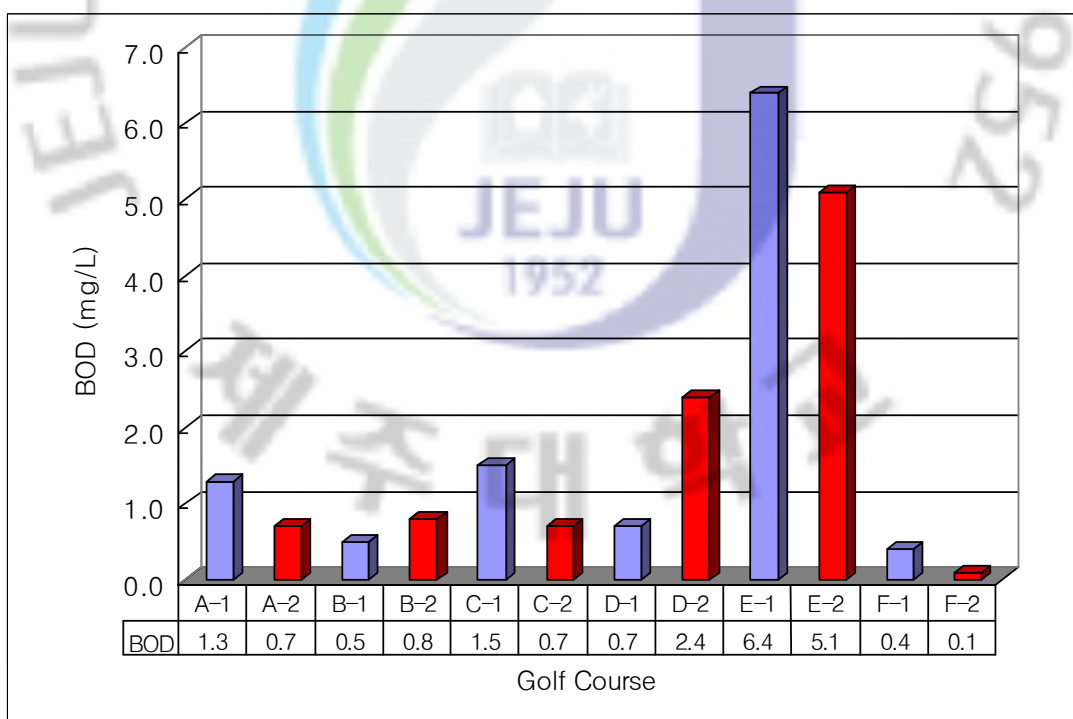


Fig. 19. Result of BOD analysis conducted in Dec. 2009.

생물화학적산소요구량(BOD)는 호소수질환경기준에는 없는 항목이나 연못의 유기물 상태를 파악하기 위해 Fig. 18~19에 분석결과를 그래프로 나타내었다.

1차 수질 분석결과, 전체 연못에서 5.0 mg/L이하로 나타났고, 2차 분석시 1차에 비해 BOD 측정값이 대부분 감소하였지만 E골프장의 BOD 평균값이 5.75 mg/L로 다른 연못에 비해 매우 높게 나타난 것이 특징이다.

연못별로 고찰하면 1차 분석시, COD와 마찬가지로 오존처리시스템을 가동중인 B골프장의 두 연못에서 1.0~1.1 mg/L의 낮은 BOD 측정치를 보였고, 처리시스템이 없는 E골프장에서 평균 3.55 mg/L로 높은 값을 나타냈으며, A골프장의 오존처리시스템 설치연못(A-1)에서는 3.4 mg/L의 높은 BOD 측정값을 보였다.

2차 분석시는, F골프장의 수질정화시스템 미설치연못2(F-2)에서 0.1 mg/L로 가장 낮은 값과 오존처리시스템을 운영중인 B골프장에서 평균 0.65 mg/L로 낮은 BOD 측정값을 나타냈으며, A골프장의 오존처리시스템 설치연못(A-1), C골프장의 NAC 시스템 설치연못(C-1), D골프장의 유역정화조 미설치연못(D-2)과 E골프장의 연못 두 군데서 1.0 mg/L를 초과하는 BOD 측정값을 나타냈다.

특히, A골프장의 오존처리시스템 설치연못(A-1)과 D골프장의 유역정화조 미설치연못(D-2)은 개인하수처리시설 방류수가 유입되는 연못으로 그렇지 않은 연못(A-2, D-1)보다 BOD 측정값이 다소 높게 나타났다.

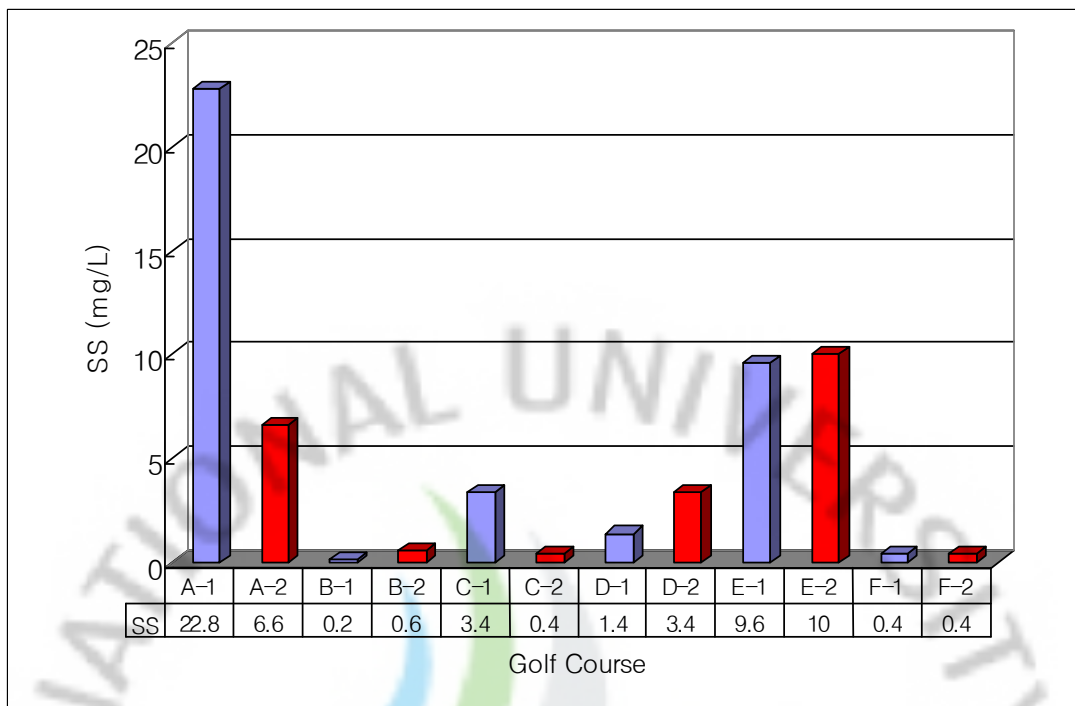


Fig. 20. Result of SS analysis conducted in Nov. 2009.

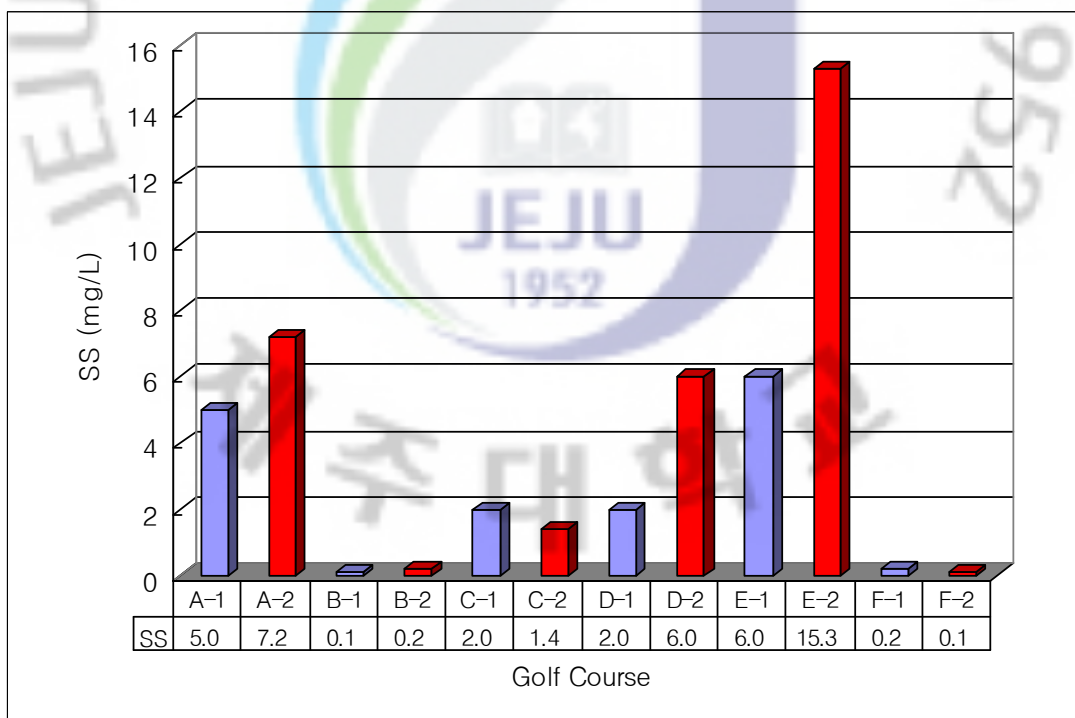


Fig. 21. Result of SS analysis conducted in Dec. 2009.

Fig. 20~21에서 보는 바와 같이 부유물질(SS)은 최소 0.2 mg/L에서 최대 22.8 mg/L까지 골프장별로 큰 차이를 보였는데, 1, 2차 수질 분석결과 오존처리시스템을 운영중인 B골프장의 연못 두 곳과 별도의 수질정화시스템이 없는 F골프장의 연못 두 곳에서 모두 호소수질환경기준 Ia(매우 좋음) 등급인 1.0 mg/L이하를 만족하는 양호한 측정치가 나왔다.

1차 수질 분석시 C골프장의 NAC시스템 설치연못(C-1)과 D골프장의 두 연못에서는 호소수질환경기준 Ib등급인 5.0 mg/L이하로 나타났으며, A골프장의 오존처리시스템 미설치연못(A-2)과 E골프장의 두 연못은 IV등급인 15.0 mg/L이하로 나타났다.

그리고, A골프장의 오존처리시스템 설치연못(A-1)에서 22.8 mg/L로 부유물질이 가장 많은 것으로 나타났는데, 이는 불확실한 오존처리시스템 가동 여부와 녹조현상에 의한 부유물질의 증가, 또는 채수시 미세토양이 포함된 것으로 판단된다.

2차 수질 분석시는 A골프장의 오존처리시스템 설치연못(A-1)에서 5.0 mg/L로 1차 분석시에 비해 17.8 mg/L가 감소하였고, D골프장의 유역정화조 미설치연못(D-2)이 1차 분석시와 비교시 2.6 mg/L 증가하였으며, E골프장의 시스템 미설치연못1(E-1)에서는 3.6 mg/L 감소한 반면 시스템 미설치연못2(E-2)는 5.3 mg/L가 증가한 15.3 mg/L의 높은 SS 측정값을 나타냈다.

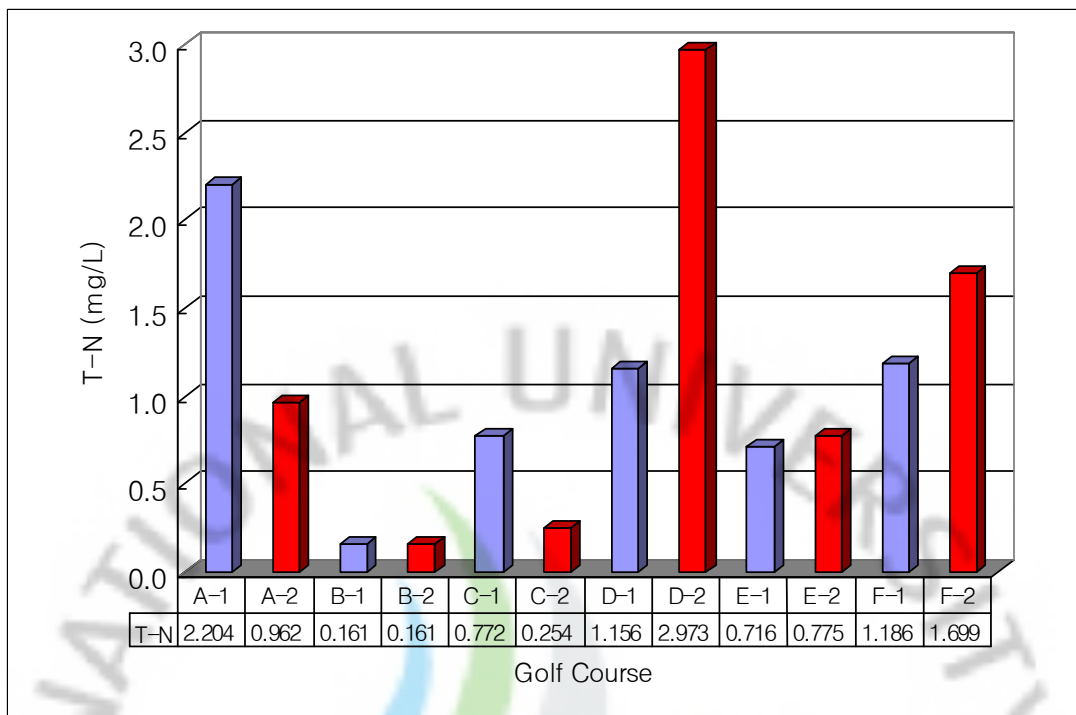


Fig. 22. Result of T-N analysis conducted in Nov. 2009.

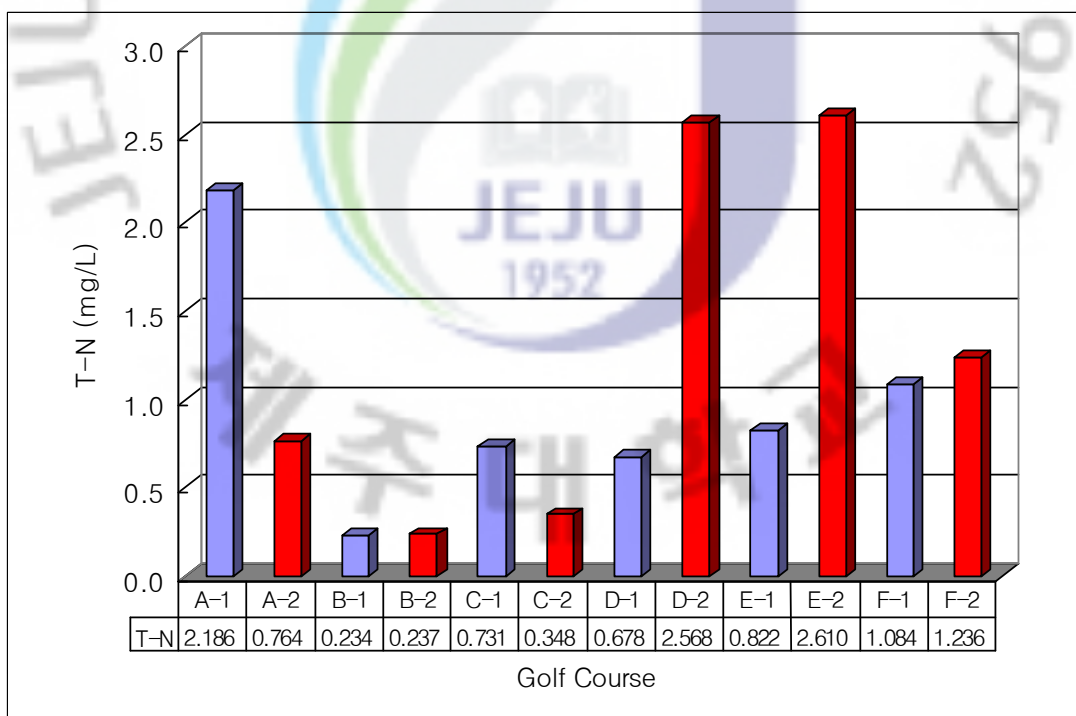


Fig. 23. Result of T-N analysis conducted in Dec. 2009.

총질소(T-N)는 Fig. 22의 1차 수질 분석시, 오존처리시스템을 운영중인 B골프장의 연못 두 곳에서 호소수질환경기준 Ia 등급인 0.161 mg/L로 낮게 나타나고, C골프장의 NAC시스템 미설치연못(C-2)에서 0.254 mg/L로 호소수질환경기준 Ib 등급을 만족하였다. 그리고, A골프장의 오존처리시스템 미설치연못(A-2), C골프장의 NAC시스템 설치연못(C-1), E골프장에서는 호소수질환경기준 IV등급인 1.0 mg/L이하로 나타났고, 나머지 연못은 1.0mg/L를 초과하여 호소수질환경기준 V~VI등급의 범위를 보였다.

특히, A골프장의 오존처리시스템 설치연못(A-1)과 D골프장의 유역정화조 미설치연못(D-2), F골프장의 시스템 미설치연못2(F-2)에서 호소수질환경기준 VI등급인 1.5 mg/L를 초과하는 높은 T-N 측정치를 보였는데, 세 조사지점이 골프장 개인하수처리 방류수를 저류하는 연못으로서 그렇지 않은 연못에 비해 크게는 2배 이상 높은 T-N 측정값을 나타내 개인하수처리 방류수의 저류여부도 연못물의 수질을 크게 좌우하는 요인으로 판단된다.

Fig. 23의 2차 수질 분석 결과, 1차 분석시와 큰 차이는 없었으나 B골프장이 평균 0.236 mg/L로 호소수질환경기준 Ib 등급으로, C골프장의 NAC시스템 미설치연못(C-2)과 E골프장 연못 두 곳이 1차 분석시에 비해 T-N 측정값이 다소 높아졌고, 나머지 골프장 연못은 1차 분석시에 비해 조금씩 감소하였다.

특히, E골프장의 시스템 미설치연못2(E-2)에서 1차 분석시에 비해 세배가 넘는 2.610 mg/L로 2차 분석시 가장 높은 T-N 측정값을 보였는데, T-N 뿐만 아니라 앞서 COD, BOD, SS에서도 눈에 띄게 증가하여 2차 수질 분석 전에 질소성분 비료나 예지물 등이 연못으로 유입되지 않았나 추측된다.

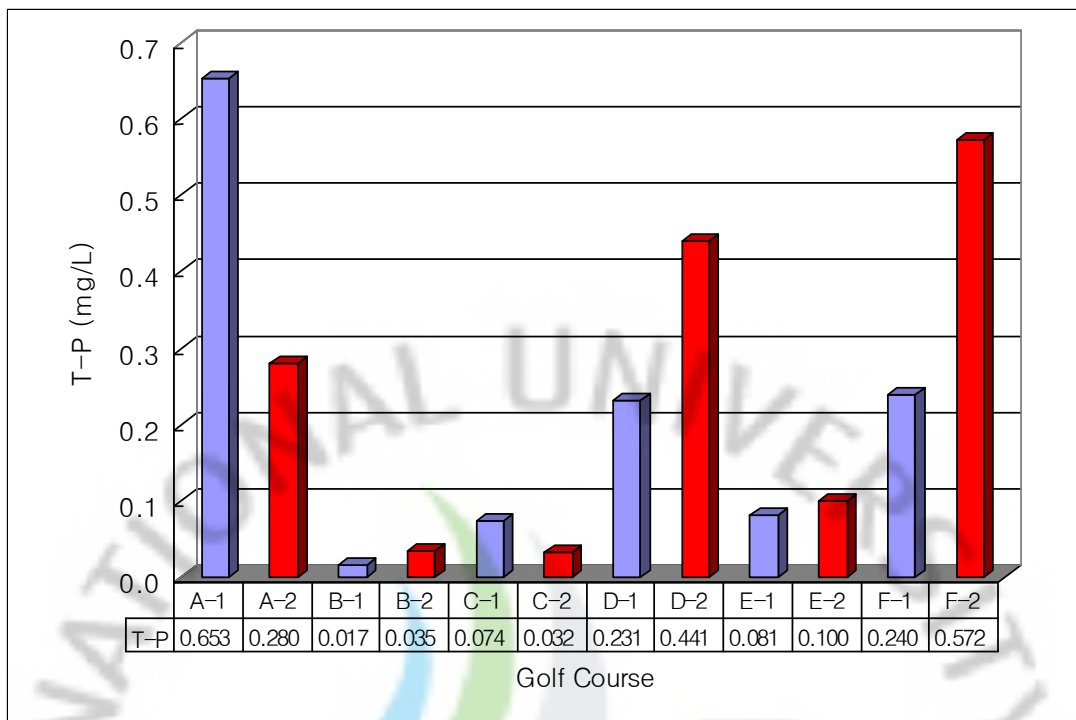


Fig. 24. Result of T-P analysis conducted in Nov. 2009.

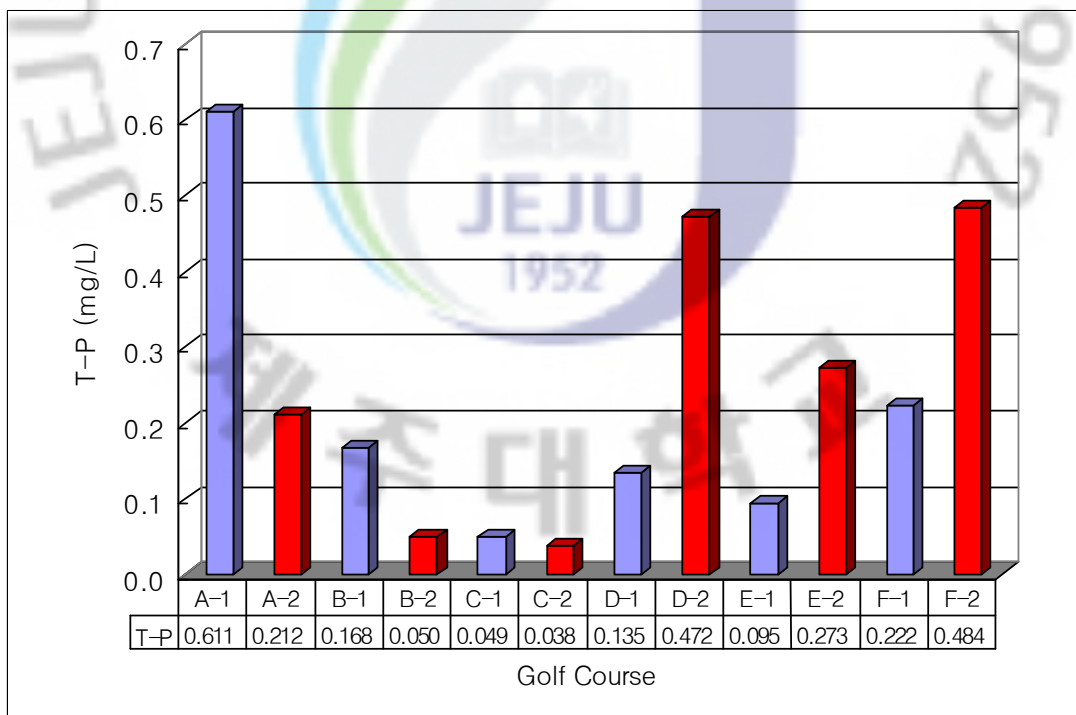


Fig. 25. Result of T-P analysis conducted in Dec. 2009.

총인(T-P)은 Fig. 24의 1차 수질 분석 결과, T-N의 1차 측정치와 거의 비슷한 양상을 보였는데, 0.017 mg/L~0.653 mg/L의 범위로 호소수질환경기준과 비교할 때 Ib~Ⅵ등급으로 나타나 T-N의 측정치에 따른 호소수질환경기준 등급보다 비슷하거나 다소 높았다.

연못별로 볼 때는, B골프장의 오존처리시스템 설치연못(B-1)에서 호소수질환경기준 Ib(좋음)를 만족하는 0.017 mg/L의 가장 낮은 측정치를 나타냈고, B골프장의 시스템 미설치연못(B-2)과 C골프장의 NAC시스템 미설치 연못(C-2)이 각각 0.035 mg/L와 0.032 mg/L로 호소수질환경기준 Ⅲ등급(0.05 mg/L이하)에 해당하는 측정값을 보였다.

Fig. 25의 2차 수질 분석 결과는 A골프장과 F골프장이 1차 수질 분석 결과보다 T-P 측정값이 조금씩 감소하였고, 나머지 골프장은 1차 수질 분석 결과와 비슷하거나 다소 증가하였으며, 특히 COD, BOD, SS, T-N에서도 1차 수질 분석시에 비해 2차 수질 분석 결과 증가하는 경향을 보인 E골프장의 시스템 미설치연못2(E-2)에서 1차 분석시에 비해 2배 이상 증가하는 0.273 mg/L의 높은 측정값을 나타냈다.

연못별로 보면, B골프장 오존처리시스템 미설치연못(B-2), C골프장 NAC시스템 설치연못(C-1)과 미설치연못(C-2)에서 호소수질환경기준 Ⅲ등급을 만족하였고, E골프장 시스템 미설치연못1(E-1)이 호소수질환경기준 Ⅳ등급인 0.095 mg/L, D골프장의 유역정화조 설치연못(D-1)은 Ⅴ등급인 0.135 mg/L로 나타났으며, 나머지 연못은 Ⅵ등급인 0.15 mg/L를 초과하였다.

특히, A골프장과 D골프장, F골프장에서 호소수질환경기준 Ⅵ등급에 해당하는 0.15 mg/L를 초과하여 높은 총인 수치를 보였는데, 이 또한 T-N과 마찬가지로 개인하수처리 방류수 저류 및 인 성분을 함유한 비료 시비에 의한 측정치로 사료되며, 연못의 부영양화와 녹조현상을 줄이기 위한 총질소와 아올러 총인 관리를 위한 특별한 대책이 요구된다 하겠다.

이상의 결과로 보아, 골프장 전체적으로 높은 측정값을 보인 T-P를 제외하였을 경우, 수질조사항목을 종합적으로 분석할 때 오존처리시스템을 가동하여 운영 중인 B골프장에서 호소수질환경기준 I~II등급을 만족하는 매우 양호한 측정값을 나타냈다. 이는 B골프장의 경우, 연못의 녹조현상과 부영양화 방지를 위해 2009년도에 4~9월까지 간헐적으로 오존처리시스템을 정상적으로 가동하였고, 수질분석을 실시한 여타의 다른 골프장과는 다르게 골프장에서 발생하는 오수 전량을 제주도 하수종말처리장으로 이송 처리하므로 하수처리시설 방류수에 대한 오염의 영향이 없었던 것도 하나의 이유이다.

또한, NAC시스템과 부레옥잠을 식재하고 있는 C골프장의 연못에서도 호소수질환경기준 I~III등급에 해당되는 양호한 값을 나타내었다.

그러나 나머지 연못의 경우는, 호소수질환경기준 III~VI에 해당되는 측정값을 나타냈는데, 특히 A골프장의 경우, 오존처리시스템을 설치하였음에도 불구하고 가동시 과도한 전력비 문제로 가동 여부가 불확실하였으며, 오존처리시스템 설치 연못의 경우 골프장의 개인하수처리시설 방류수를 저류하는 곳으로 미설치 연못보다 T-N, T-P 측정값이 2배 이상 높게 나타났다.

그리고, D골프장도 유역정화조 미설치 연못은 해당 골프장에서 발생하는 개인하수 등을 Bio-NET 방식으로 처리한 후 방류수를 저류시키는 곳으로 COD, T-N, T-P 측정치가 유역정화조 설치 연못에 비해 측정값이 2배 이상 높게 나타나 개인하수처리시설 방류수의 저류 여부가 연못의 수질에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한 비료 사용 외에 명확한 원인은 알 수 없으나, 골프장 전체적으로 나타난 높은 T-P 측정치는 연못의 부영양화 및 녹조현상과 직결되므로 정확한 원인 규명과 아울러 연못 내 인 성분을 낮추기 위한 특별한 대책이 있어야겠다.

3. 제주지역 골프장 연못의 수질 개선 방안

상기 수질조사 결과를 보면 일부 골프장을 제외하고는 관개용수로 직접 사용하기에는 부유물질 및 유기물 농도가 너무 높아 정화가 필요한 실정이다. 또한 육안으로 판단된 결과 두 곳의 골프장은 조류발생이 매우 심하여 관개용수로 사용하기 어렵다. 따라서 근원적으로 조류발생을 억제하기 위하여 T-N, T-P를 차단하는 장치와 예방적 차원에서 정화시스템의 적절한 운용이 필요하다고 판단된다.

시스템별 차이는 현재의 연구로는 불명확하나 약품으로 일시적 조류를 억제하는 방법보다는 장기적인 관리를 위하여 시스템의 실시간 수질조사를 통한 운용 시스템 개발이 절실하다.

현재 제주도내 거의 대부분의 골프장에서 여러 가지 오염원으로 인한 연못의 수질 개선과 물의 정체성을 막기 위해 물리적 처리방법으로 분수시설과 순환시설을 설치하여 운영 중에 있으며, 몇몇 골프장에서는 추가적인 수질개선을 위해 화학적 처리방법인 오존 제너레이터시스템(Ozone Generator System)과 물리화학적 처리방법인 가압부상처리시설(NAC System), 활성탄을 이용한 유역정화조 등을 설치하여 운영하고 있다.

그러나, 여러 가지 이유로 연못의 수질을 적기에 개선하기 보다는 최악의 상태까지 일정기간 방치하다 한 번에 준설 또는 지하수로 연못물을 교체하는 등 일부 골프장이 수질환경 보다는 경제성에 맞춰 연못을 관리하기도 한다.

따라서 골프장 연못의 수질개선 방안으로

첫째, 골프장 연못 수질의 상시 Monitoring을 통한 수질 정화시스템의 적절한 가동과 적기에 보충수(지하수) 투입을 들 수 있는데, 이는 일부 수질 정화시스템 가동에 높은 전력비와 높은 지하수 요금으로 기인한다.

둘째, 비료사용 최소화로, 민(1998)은 골프장내 연못의 수질 개선에 관한 연구에서 골프장내 연못의 오염인자로 골프장 코스관리자의 47.1%가 비료를 가장 큰 원인으로 응답했고, 다음으로 낙엽 및 Thatch(20.6%), 주변 토사(11.8%)순이었다.

따라서, 비료사용을 최소화하기 위해 미생물농약 사용, 잔디 생육이 멈추는 동절기에 질소비료의 사용 중단, 비료 시비 후 관수 지양으로 질소와 인 성분의 유

출 방지, 강수량이 많은 5월~7월에는 비료의 사용을 자제하여 강수에 의한 비료 성분의 유출이 없도록 하고, 인력에 의한 제조작업을 하는 등의 일반적 방안과 연못 주변에 완충지대(Buffer-zone) 또는 식생여과지대(Vegetative filter strip)를 설치(이도원, 1994)하거나 연못을 중심으로 4.5~7.5m 두께의 무시비지역(No fertilization zone)의 조성(White, 2000), 또는 표면 유출에 의한 비료의 운반을 고려하여 잔디지역의 비료살포 농도를 차별화하는 방법도 대안이 될 수 있을 것이다.

셋째, 앞의 수질 분석 결과에서 알 수 있듯이 개인하수처리시설 방류수의 연못으로의 유입 여부가 T-N, T-P 값에 상당한 영향을 미치므로, 연못물의 부영양화와 녹조현상 저감을 위해 개인하수처리시설을 철저히 운영하여 T-N, T-P값을 사전에 줄여야 할 것이다.

넷째, 정책적인 방안으로 연못의 수질기준 마련이다. 이것은 골프장 연못에 별도의 수질기준이 없어 환경영향평가서 등에서 골프장 연못물의 목표수질 기준을 농업용수 - 하천수질 기준 IV(약간나쁨)등급으로 맞추어 관리하고 있으나 일반 수목뿐만 아니라 병충해와 환경오염에 민감한 잔디라는 특수성에 맞추어 적절한 수질기준을 마련해야 할 것으로 본다.

현재 미국의 일부 지역에서는 연못물을 관개용수로 사용하고자 할 때 부유물질, 총질소, 인, 칼륨, pH, BOD/COD, 용존고형물질 등에 대한 수질분석을 통하여 관개용수로서의 적절여부를 결정하고 있다(USGA, 1994). 그리고 Table 17에 관개용수질의 Guidelines를 정리하였다.

우리 제주지역 또한 관련조례에 따라 월간 용수사용량의 40%이상을 재활용하도록 규정하고 있으므로 연못의 오염인자에 대한 수질항목과 수질기준을 마련하여 지속적으로 관리해 나갈 필요성이 있다고 본다.

Table 17. Guidelines for Interpretations of Water Quality for Irrigation: Degree of Restriction on Use

Potential Problem	Units	None	Slight to Moderate	Severe
Salinity				
EC(w) TDS	dS m ⁻¹	<>	0.7 - 3.0	>3.0
	mg L ⁻¹	<450></450>	450 - 2000	>2000
SAR = 0-3 and EC(w) =		>0.7	0.7 - 0.2	<>
SAR = 3-6 and EC(w) =		>1.2	1.2 - 0.3	<0.3></0.3>
SAR = 6-12 and EC (w		>1.9	1.9 - 0.5	<0.5></0.5>
SAR = 12-20 and EC(w)=		>2.9	2.9 - 1.3	<1.3></1.3>
SAR = 20-40 and EC(w)=		>5.0	5.0-2.9	<2.9></2.9>
Sodium (Na)				
root absorption	SAR	<>	3 - 9	>9
foliar absorption	meq L ⁻¹	<>	>3	
Chloride (Cl)				
root absorption	meq L ⁻¹	<>	2 - 10	>10
	meq L ⁻¹	<70></70>	70 -355	>355
foliar absorption	meq L ⁻¹	<3></3>	>3	
foliar absorption	meq L ⁻¹	<100></100>	>100	
Boron (B)	meq L ⁻¹	<1.0></1.0>	1.0 - 2.0	>2.0
Miscellaneous Effects				
Bicarbonate	meq L ⁻¹	<>	1.5 - 8.5	>8.5
(HCO ₃)				
unsightly foliar deposits	mg L ⁻¹	<>	90 - 500	>500
pH		Normal Range 6.5 - 8.4		
Residual chlorine	mg L ⁻¹	<1.0></1.0>	1 - 5	>5

Source: Wastewater Reuse for Golf Course Irrigation - Adapted from Westcot and Ayers 1984; Farnham, et al, 1985

V. 결 론

본 연구에서는 제주지역 골프장 연못의 수질 특성을 파악하기 위해 골프장의 빗물이용 실태, 농약 및 비료사용 특성을 조사하였고, 수질정화시스템이 설치된 곳과 설치되지 않은 골프장 선택하여 월별 수질 특성을 파악하였다.

또한, 수질 정화시스템별 수질 특성을 파악하기 위해 오존제너레이터시스템(Ozone Generator System), 가압부상처리시스템(NAC System), 활성탄을 이용한 유역정화조 등 수질 정화시스템이 설치된 연못과 단순히 연못물을 순환시키는 골프장의 여섯군데 골프장을 선정하여, 각 연못의 시료를 2회에 걸쳐 COD, BOD, SS, T-N, T-P 등의 수질 항목을 분석·비교한 결과는 아래와 같다.

1. 제주지역 골프장의 빗물이용 실태는 저류지의 저수용량, 빗물이용시설 관련 조례 제정 및 준공년도, 강수량, 잔디의 종류 등과 상관 관계가 있고, 2009년 1월~9월까지 골프장별로 다소 차이는 있지만, 42.8~88%까지 평균 66.3%로 많은 양의 빗물을 이용하고 있으며, 또한 비료 사용량은 골프장에서 자라는 잔디의 종류에 따라 달라지며 한지형 잔디가 식재된 지역의 경우, 주로 봄, 가을에 많이 시비되고, 난지형 잔디는 여름철에 많이 사용된다.

2. 골프장 연못의 월별 수질 특성을 파악한 결과, 수질 정화시스템이 설치되지 않은 골프장의 연못이 설치된 골프장의 연못에 비해 평균 BOD농도는 2배, SS농도는 7배, T-N농도는 2배 그리고 T-P농도의 경우는 5배 이상 높은 측정값이 나타나 수질 정화시스템 유무에 따라 상당한 수질농도의 차이를 알 수 있었다.

3. 수질 정화시스템별 수질 항목(COD, BOD, SS, T-N, T-P) 분석 결과, 오존처리시스템을 정상적으로 가동하였거나 NAC시스템을 가동하면서 부레옥잠이 식재된 연못에서 호소수질환경기준 I~III등급의 양호한 측정치가 나타났고, 오존처리시스템을 설치하였으나 가동여부가 불확실한 골프장과 별도의 화학적, 생물학적 수질 정화시스템이 없는 골프장은 호소수질환경기준III~VI등급범위로 나타났다.

4. 골프장의 개인하수처리시설 방류수 유입여부에 따라 연못의 수질 분석 결과가 크게 달라졌는데, 발생하수를 하수종말처리장과 연계하여 처리하는 B골프장 연못의 수질이 가장 양호하였고, A, D, F골프장의 연못 세 곳이 개인하수처리시설 방류수가 직접 유입되는 연못으로, 유입되지 않는 연못에 비해 T-N, T-P 측정값이 많게는 2배 이상 높게 나타나는 등 개인하수처리시설 방류수의 유입여부가 연못의 수질오염 원인으로 큰 영향이 있는 것을 알 수 있었다.

5. 제주 지역 골프장 연못의 수질 개선 방안으로는 1) 골프장 연못 수질의 상시 Monitoring을 통한 수질 정화시스템의 적절한 가동과 적기에 보충수(지하수) 투입, 2) 농약 및 비료사용 최소화, 3) 연못물의 관개용수로의 재활용을 위한 USGA에서 제안한 것과 같은 제주지역에 적합한 적절한 수질기준 마련 등을 들 수 있다.

본 연구는 제주지역 골프장 연못의 수질 정화시스템을 중심으로 골프장 연못의 수질 개선방안을 찾기 위해 실시하였다. 그러나 자료수집의 어려움으로 각 골프장 연못의 수질에 영향을 미칠 수 있는 요인들 즉, 강우량과 일사량 같은 기후적 요인, 유역면적 및 토지이용현황 등의 물리적 요인, 비료나 농약의 살포량과 살포시기, 살포빈도 및 연못물의 보충량, 보충시기, 보충수의 수질 등 관리적 요인들, 그리고 한정된 연구기간으로 인해 수질분석을 위한 시료채취시기 및 채취 빈도의 다양화 등 수질에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 변수들을 충분히 고려하지 못하였다. 추후 제주지역 골프장 연못에 대한 이러한 요인들을 바탕으로 연중 골프장 연못물의 수질 모니터링을 통한 체계적이고 구체적인 연구가 있었으면 한다.

앞서 분석한 바와 같이 골프장 연못의 수질 개선을 위해 기존의 물리, 화학, 생물학적 수질 정화시스템을 적절히 사용하고 앞에서 열거한 일반적인 비료사용 저감대책을 이행한다면 연못의 수질 개선에 상당한 효과가 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 권성환, 1994, “미나리를 이용한 수질정화에 관한 연구”, 석사학위논문, 연세대학교대학원, p.1.
- 권오원, 2002, “골프장 연못의 관리만족도를 위한 설계기준”, 석사학위논문, 경희대학교대학원, pp.14~30.
- 김원조, 2005, “국내 골프장 연못의 방수기술”, 석사학위논문, 건국대학교농축대학원, pp.52~54.
- 김인섭, 1996, 『한국골프의 미래』, p.103.
- 김좌관, 2003, 『수질오염개론』, 동화기술.
- 민권식, 1998, “골프장내 연못의 수질개선에 관한 연구”, 석사학위논문, 한양대학교환경대학원, pp.2~25.
- 안득수 외, 2006, “골프장 연못의 생태적 관리를 위한 환경특성 분석”, 한국조경학회지, 33(6), p.53, pp.67~71.
- 양철신 외, 2009, “제주지역 골프장의 농약·비료 사용 가이드라인 설정에 관한 연구”, 제주특별자치도 환경자원연구원, p.29, p.42.
- 양철신 외, 2008, “라이시메타를 이용한 골프장 사용 농약·비료의 지하수오염 잠재성 평가”, 제주특별자치도 보건환경연구원, p.37.
- 오영진, 2007, “제주도 빗물의 수자원 활용화 방안에 관한 연구”, 석사학위논문, 제주대학교산업대학원, p.57, p.60.
- 이상재, 1994, 『골프장 잔디 관리와 코스 조성 실무』, 대성인쇄소, p.276.
- 이용두 외, 1998, “오존을 이용한 골프장 연못의 수질관리”, 한국수처리학회지, 6(3), pp.113~118.
- 이은엽 외, 2001, “생태연못 조성공법 적용후의 자연생태 변화분석”, 한국환경복원녹화기술학회지.
- 이주영, 2008, “잔디예초물의 적법한 처리”, Golf Course 관리정보지 제93호, 한국잔디연구소, p.11.

- 정기호 외, 2001, “전통연못의 방수공법에 관한 연구”
- 주영규 외, 1992, 『한국의 골프장계획 이론과 실무』, 도서출판 조경, pp.71~73, pp.216~217, p.394.
- 함의수, 2009, “제주지역 골프장의 예지물 퇴비화 방안에 관한 연구”, 석사학위논문, 제주대학교산업대학원, p.8, pp.34~35.
- 골프장 및 주변 농경지에 대한 농약 잔류량 조사, 1992, 제주도 보건환경연구원보 제3권, p.121.
- 제주특별자치도, 2008, 『제주특별자치도 환경영향평가매뉴얼』, p.22.
- 한국잔디연구소, 1990, 『잔디 관리자를 위한 관리정보』, 제5호.
- 한국잔디연구소, 1992, 『잔디 관리자를 위한 관리정보』, 제10호.
- 「ゴルフ場・水系の水質浄化」編集委員会, ゴルフ場・水系の水質浄化, 1994, 博友社.
- Daniel C. Bowman, Dale A. Devitt and Wally W. Miller, 1995, The Effect of Salinity on Nitrate Leaching from Turfgrass, USGA Green Section Record, Jan./Feb, pp. 15~49.
- James B. Beard, 1982, Turf Management for Golf Courses, Burgess Publishing Company, pp.145, 345.
- The Impact of soil type and precipitation on pesticide and nutrient leaching from fairway turf USGA Green Section Record(Petrovic), 1995, pp.38~41.
- Nature Alive Cycle 水質浄化装置, Ecology Microbiology Aqua, p.4
- http://www.usga.org/course_care/articles/construction/greens/Helping-Your-Greens-Make-the-Grade/

감사의 글

우선 본 논문이 완성되기까지 바쁘신 중에도 보다 충실한 논문이 될 수 있도록 학문적 가르침과 세심한 지도, 따뜻한 격려를 해주신 이기호 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 그리고, 한없이 부족한 저의 논문을 처음부터 끝까지 꼼꼼하게 심사해 주신 감상규 교수님, 조은일 교수님께 감사의 말씀을 드리며, 학부생 시절부터 학문적 지도와 격려를 해주신 허복 교수님, 허철구 교수님, 이용두 교수님께도 진심으로 감사의 말씀을 올립니다.

서로 직장에 다니면서 논문의 시작과 마무리를 함께한 양성택 선배님, 학과 조교때부터 많은 도움을 주고, 같이 고생하며 논문을 쓴 백동명 후배에게도 감사를 드립니다.

특히, 본 논문의 실험을 위해 후배의 부탁을 흔쾌히 들어주신 환경자원연구원에 김세라 선배님, 연구사 동기인 김수미, 바쁜 업무 중에도 논문 관련 자료를 많이 챙겨 주신 환경정책과 과인철 형님, 상하수도본부에 오승근, 제주지방기상청에 오봉학 예보관님께도 고맙다는 말씀 전합니다.

또한, 박물관에 근무하면서 논문을 마칠 수 있도록 물심양면으로 배려해주신 김성언 소장님을 비롯한 제주돌문화공원 직원 여러분께도 심심한 사의를 표합니다.

그리고, 골프장 자료를 적극 협조를 해주신 (주)늘푸른평가기술단 오상호 사장님과 현훈철, 진성우, 부창호 형님께도 감사의 말씀을 드리고, 샘플링에 응해주신 여러 골프장 관계자 여러분께도 이 지면을 빌어 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로, 처음 자료수집부터 마지막 논문 검토까지 물심양면으로 도움을 주신 정기돈 형님에게 특별한 감사를 드리고, 자식들 뒷바라지 하느라 고생하신 어머님과 항상 저를 자식같이 아껴 주시는 장인, 장모님, 막내라고 이것저것 많이 챙겨주는 고마운 형제들과 곁에서 묵묵히 응원해 준 사랑하는 아내 현정과 논문 쓴다는 핑계로 많이 놀아주지 못한 아들 상윤이, 그리고 자식들이 잘 되기만을 걱정하시며, 손자가 학교에 가는 걸 못 보고 고인이 되신 사랑하는 아버님께 이 작은 결실을 바칩니다.