

다짐효율 향상을 위한 계면활성제의 역할 Surfactant-Enhanced Compaction

박준범¹⁾, Jun-boum Park,
윤현석²⁾, Hyun-Suk Yoon, 김준섭²⁾, Jun-Seop Kim, 박종화²⁾, Jong-hwa Park

¹⁾ 서울대학교 공과대학 토목공학과 전임강사, Full Time Instructor, Dept. of Civil Engineering,
Seoul National University

²⁾ 서울대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Students, Dept. of Civil Engineering,
Seoul National University

개요(SYNOPSIS) : Reduction of interfacial tension is one of the most commonly measured properties of SURFACTANT(Surface-Active Agent). When a small amount of surfactant(less than 1%w/w concentration) was added to water for compaction of a weathered soil collected near Seoul National University and Kaolinite, the surfactant decreased the surface tension developed between the pore gas(air) and the surface of the soil particles. Consequently, the added water for compaction moved readily through pores, and wetted the particle surfaces much quickly. The result showed that the addition of surfactants reduced the optimum moisture content of the test soil more than 2% when compared for the same conditions performed without the surfactants.

주요어(Key Words) : 다짐(compaction), 최대건조단위중량(maximum dry unit weight), 최적함수비(optimum moisture content), 계면활성제(surfactant)

1. 서 론

도로, 제방, 댐, 매립지 등을 건설하고, 흙을 되메움 하고자 할 때, 느슨한 흙의 단위 중량을 증가시키어 흙의 공학적 성질을 개선하고, 부적절한 침하를 방지할 목적으로 헤머 혹은 롤러 등의 기계적 방법으로 흙을 다지는 작업을 '다짐(compaction)'이라고 한다. 흙의 다짐의 정도는 일반적으로 Proctor test (혹은 modified Proctor test)(Proctor, 1933)를 통하여 다짐곡선(compaction curve)으로 표시된다. 주지하는 바와 같이 다짐곡선으로 흙이 가장 잘 다져지는 함수비를 구할 수 있는데, 이것을 최적함수비(optimum moisture content)라한다. 이때의 건조단위중량은 최대가 되어 이를 최대건조단위중량(maximum dry unit weight)이라고 한다. 최적함수비를 중심으로 해서 함수비가 감소되는 쪽은 건조측(dry side), 증가하는 쪽을 습윤측(wet side)이라고 부른다.

최대건조단위중량과 최적함수비는 다짐에너지에 따라서 변하게된다. 즉, 다짐에너지가 증가하게되면 일반적으로 흙의 최대건조단위중량은 증가하고 최적함수비는 감소한다. 최대건조단위중량이 증가함으로 인하여 흙의 강도가 증가하고, 변형발생량을 최소화하여, 궁극적으로 흙의 공학적 성질이 향상된다.

계면활성제(surfactant)는 상태가 다른 물질(고체-액체, 기체-액체, 고체-기체) 사이에서 두 물질 사이에 존재하는 자유에너지를 낮추는 성질이 있다. 이것은 표면장력을 낮추는 효과를 가져오므로, 다짐 시에 간극기체(공기)와 흡입자 사이의 표면장력을 낮추어 간극수에 의한 포화(saturation)을 용이하게 한다. 즉 미량(critical micelle concentration, 임계마이셀농도 이상)의 계면활성제의 첨가로 보다 적은 함수비에서 최적함수비에 다다르게 한다. 또한 계면활성제의 첨가는 흙의 포화를 용이하게 함으로 흡입자와 입자사이에 발생하는 마찰을 줄여서 보다 조밀한 상태(denser configuration)의 다짐으로 유도한다. 궁극적으로는 다짐 시에 흙의 단위중량을 증가시킬 것으로 예상된다. 이와 같은 계면활성제의 작용은 현장 다짐시 같은 에너지로 다질 때 계면활성제를 첨가하지 않은 상태에 비하여 보다 효율적인 다짐을 가능하게 한다는 사실을 내포하게 된다.

따라서 본 논문에서는 실험을 통하여 다짐시 계면활성제에 의한 다짐효율의 향상, 즉 최대건조단위중량의 증가와 최적함수비의 변화에 대하여 알아보았다.

2. 계면활성제의 역할

계면활성제(surfactant)에 의한 다짐효과의 향상은 계면활성제의 표면장력 저감현상을 이용한 것이나, 이외에도 계면활성제는 유기물의 용해도를 증진시키는 작용도 한다. 이러한 현상을 이용하여 오염된 지반을 정화할 목적으로 계면활성제가 쓰이기도 한다(McDermott 등, 1989, Thornton, 1990, Gabr 등, 1995). 계면활성제는 기본적으로 양면성을 가진 분자구조를 가지고 있다(그림 1).

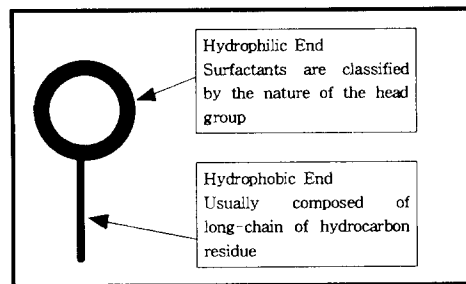


그림 1. 계면활성제의 구조

한쪽 단은 친수성체(hydrophilic, water-soluble, polar moiety)이고 다른 한쪽은 혐수성체(hydrophobic, organic-soluble, nonpolar moiety)로 되어 있어서 두 가지의 상태가 다른 물질 사이(interface)에서 자유에너지를 낮춘다. 계면활성제는 친수성체의 성질에 따라 양이온성(cationic-), 음이온성(anionic-), 비이온성(nonionic-), 및 양성(zwitterionic-; 양이온성과 음이온성의 성질을 다 갖고있음)으로 구분된다.

계면활성제는 농도가 어느 이상이 되면 더 이상 표면장력을 낮추지 않고 그때부터 마이셀(계면활성제의 집합체)을 형성한다. 이때의 농도를 '임계 마이셀 농도(Critical Micelle Concentration, CMC)'라 하며, 다짐에 사용되는 계면활성제의 농도는 바로 이 농도 이상에서 결정한다. 과도하게 높은 농도의 계면활성제를 사용하면 시공시 거품(foam)형성의 문제점과 지반오염의 문제가 있으므로 가능한 최소의 농도로 낮추어 사용한다.

계면활성제 주입에 의한 지반오염을 방지하고자 계면활성제는 지반내의 미생물에 의하여 분해가 가능한(biodegradable)것을 사용한다. 일반적으로 생분해가 가능한 계면활성제는 30일에 90%이상이 분해되는 것으로 보고되어있다(Shell Chemical Company, 1991). 그러나 양이온성의 계면활성제는 살균력이 강하므로 지반에서의 생분해가 용이하지 않으므로 본 연구의 시험물질로는 사용하지 않았다.

3. 다짐시험

계면활성제 첨가에 의한 다짐효율의 향상을 관찰하고자 Standard Proctor Test(ASTM D 698-70)를 실시하였다. 시험에 사용한 시료와 시험방법 및 결과는 아래와 같다. 모든 실험은 최소 2회이상 반복하여 실험의 신뢰도를 높였다.

3.1 시험재료 및 방법

시험에 사용한 흙은 서울대학교(낙성대측 후문)에서 채취한 것으로(지표로부터 약 1m 깊이) 연한갈색의 조립토(granular soil)이다. gravel fraction은 2.1%, sand fraction은 93.2%, 그리고 silt와 clay는 4.7%를 차지하였다. 균등계수는 8.4, 곡률계수는 1.4로서 양입도(well-graded)에 해당하였다. 비중은 2.63이고 유기물 함량(organic content)은 1.79%이다. 시험에 사용된 흙은 통일분류법으로 분류할 때 SW(well-graded sand)로 구분된 화강풍화토이다. 그림 2는 시험흙의 입도분포곡선이다. 그리고 점토성 흙의 다짐에 대한 계면활성제의 첨가 영향을 알아보기 위하여 서울대흙과 카올리나이트를 무게비 4:1로 혼합하여 다짐시험을 실시하였다.

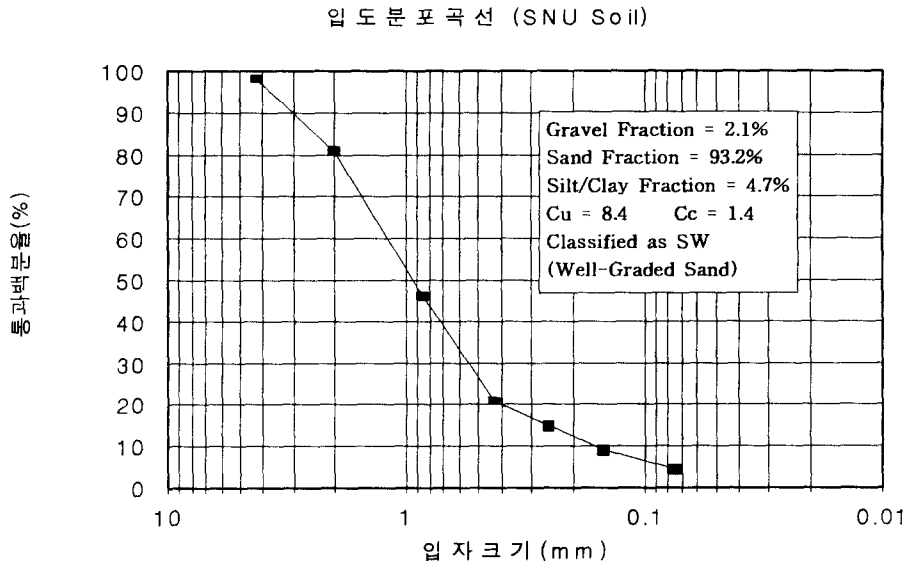


그림 2. 서울대시료의 입도분포곡선

계면활성제는 비이온성, 음이온성을 선택하였다. 비이온성으로는 polyoxyethylene nonylphenol ether (덕산약품, 상품명 NP-3), POE(10)octylphenol(Aldrich, 상품명 Triton X-100), alcohol ethoxylate(Shell, 상품명 Neodol 25-3)을 사용하고, 음이온성 계면활성제는 sodium dodecylsulfate (Aldrich, 상품명 SDS)를 사용하였다. 사용 농도는 0.001% 이상으로 모두 임계마이셀농도 이상의 값이다.

3.2 시험결과 및 분석

계면활성제를 첨가하고 다짐시험(standard proctor test)을 실시하여 다짐효과의 변화를 관찰하였다. 먼저, 그림 3은 서울대시료에 대한 물과 계면활성제(SDS 1%)의 다짐곡선이다. 그림에 나타난 바와 같이 음이온성 계면활성제 SDS(1%, 무게비)를 첨가함으로써, 최적함수비는 약 11.5%에서 9.7%로 급격히 감소하였다. 반면, 최대건조단위중량은 물로만 다진 경우의 1.98t/m³으로부터 2.03t/m³으로 미소하나

증가하였다. 이는 첨가된 계면활성제가 간극의 공기와 입자표면 사이의 표면장력을 낮추어, 다짐시 간극수가 간극공기에 차단되지 않고 용이하게 간극사이를 침투하였음을 의미한다. 따라서 보다 적은 양의 물로 흙 전체를 고르게 적시어 최대건조단위중량에 도달할 수 있었다. 또한 이렇게 고루 침투된 간극수는 윤활작용(lubrication)으로 보다 큰 최대건조단위중량을 얻는 역할을 한 것으로 사료된다.

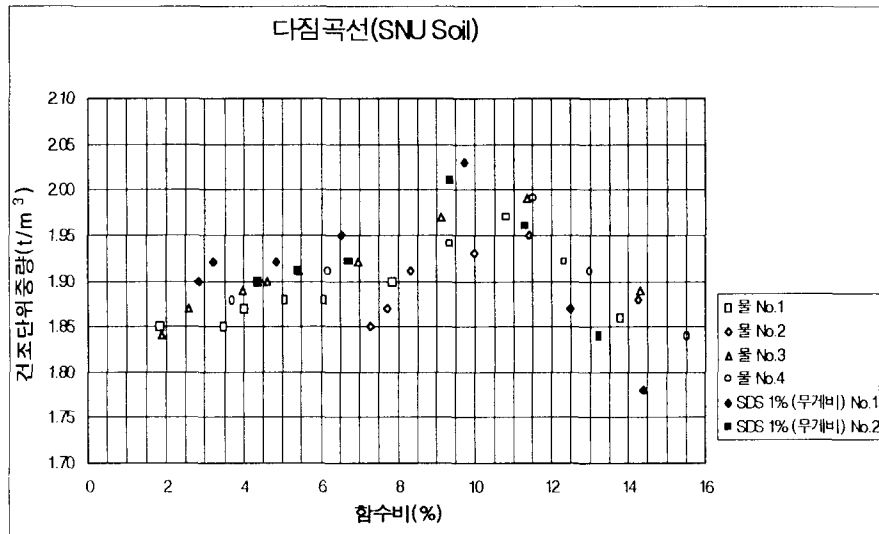


그림 3. 음이온성세제와 물의 다짐곡선

그림 4는 서울대흙에 대한 비이온성(NP-3, Triton X-100, Neodol 25-3 각1%, 부피비)및 음이온성계면활성제(SDS 1%, 무게비)와 물과의 다짐곡선의 최대건조단위중량과 최적함수비를 표시한 것이다. 모든 계면활성제의 경우에 최적함수비는 감소하였다. 특히 Neodol 25-3의 경우는 거의 2% 가량 감소하였다. 이는 Neodol 25-3이 다른 계면활성제에 비하여 표면장력을 낮추는 성질이 우수하여 간극수의 확산을 용이하게 하였음을 나타낸다. 건설공사시에 같은 최대건조단위중량을 얻으면서 보다 건조한 상태로 다져야 할 경우 Neodol 25-3 등의 계면활성제의 첨가가 효과적이라 본다. 최대건조단위중량의 향상은 음이온계면활성제에서 관찰되었으나 그 값의 증가는 미미하였다.

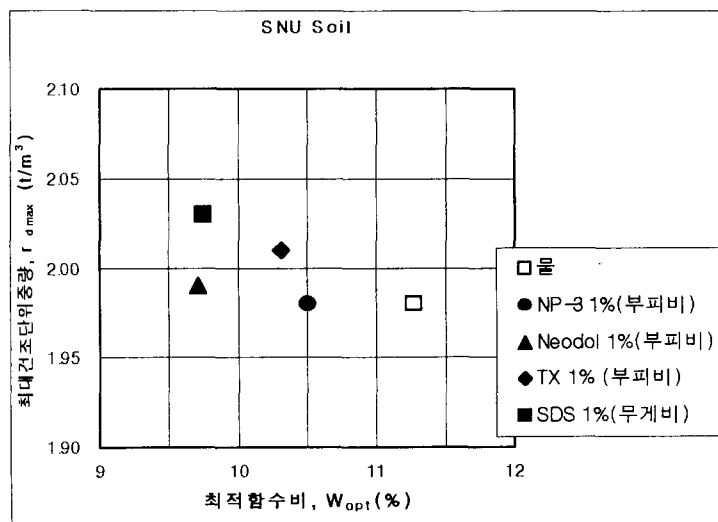


그림 4. 계면활성제의 종류에 따른 서울대흙의 다짐효과

그림 5는 서울대흙과 kaolinite 혼합흙(4:1)에 대하여 비이온성 계면활성제(NP-3, 0.001%, 0.1%, 1%, 부피비)의 첨가효과를 나타낸 것으로 최대건조단위중량과 최적함수비가 나타나는 점만을 표시한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 비이온성계면활성제의 첨가로 최적함수비는 감소하나, 음이온성계면활성제와는 다르게 최대건조단위중량의 증가는 관찰되지 않았다. 특히, 농도 1%에서는 최대건조단위중량이 감소하였다. 이는 점토와 계면활성제의 혼합으로 흙이 액상화되어 효과적인 다짐이 불가능하였던 것으로 보인다.

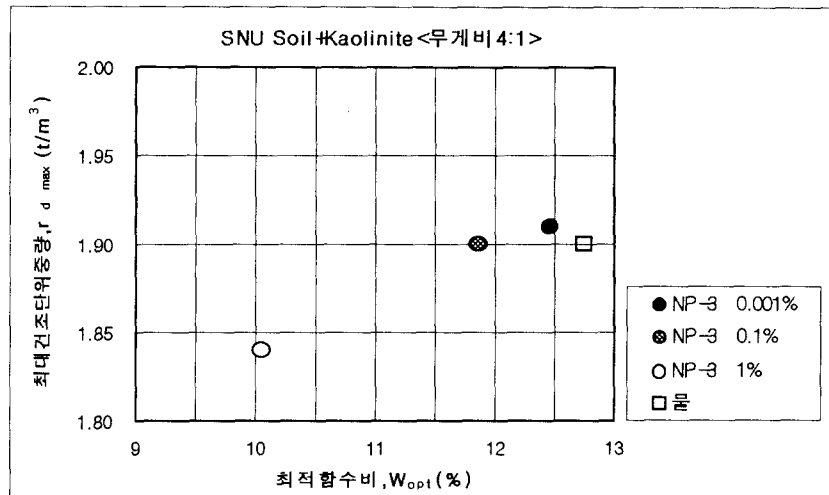


그림 5. 서울대흙과 카올리나이트 혼합흙의 비이온성세제에 대한 다짐효과

4. 결 론

본 논문에서는 실험을 통하여 다짐시 계면활성제에 의한 다짐효율의 향상, 즉 최대건조단위중량의 증가와 최적함수비의 변화에 대하여 알아보았다.

- (1) 사용한 모든 계면활성제의 경우에 최적함수비는 감소하였다. 특히 Neodol 25-3의 경우는 거의 2% 가량 감소하였다. 이는 첨가된 계면활성제가 간극의 공기와 입자표면 사이의 표면장력을 낮추어, 다짐시 간극수가 간극공기에 차단되지 않고 용이하게 간극사이를 침투하였음을 의미한다. 따라서 보다 적은 양의 물로 흙 전체를 고르게 적시어 최대건조단위중량에 도달할 수 있었다. 건설공사시에 같은 최대건조단위중량을 얻으면서 보다 건조한 상태로 다져야 할 경우 Neodol 25-3 등의 계면활성제의 첨가가 효과적이라 본다.
- (2) 최대건조단위중량의 향상은 음이온계면활성제에서 관찰되었다. 최대건조단위중량은 물로만 다진 경우의 $1.98t/m^3$ 으로 부터 $2.03t/m^3$ 으로 미소하나마 증가하였다.

5. 향후의 연구방향

위의 연구 결과를 종합하여 볼 때 다음과 같은 연구가 추후 연구과제로 수행되어야 한다고 본다.

- (1) 음이온성 계면활성제의 다양화를 통한 최대건조단위중량의 증가 현상
- (2) 계면활성제 첨가에 따른 흙의 물성변화
- (3) 계면활성제 첨가 시 다짐에너지와 건조단위중량과의 관계

참고 문헌

1. Gabr, M. A., Bowders, J. J., and Shoblom, R. J.(1995), "Flushing of Polyaromatic Hydrocarbons, from Soil Using SDS Surfactant", *Geotechnical Special Publication No. 46, American Society of Civil Engineers*, New York, NY.
2. McDermott, J. B., Unterman, R., Brennan, M. J. Brooks, R. E., Mobley, D. P., Schwartz, C. C., and Dietrich, D. K.(1989), "Two Strategies of PCB Soil Remediation: Biodegradation and Surfactant Extraction", *Environmental Progress*, Vol. 8, pp. 46-51.
3. Proctor, R. R.(1933), "Design and Construction of Rolled Earth Dams," *Engineering News Record*, Vol. 3, pp. 245-248, 286-289, 348-351, 372-376.
4. Shell Chemical Company(1991), "Neodol: Product Guide for Alcohols, Ethoxylates and Ethoxysulfate", *Neodol Communications*, Shell International Petroleum Company, Ltd.
5. Thornton, J. S.(1990), "Underground Movement of Gasoline on Groundwater and Enhanced Recovery by Surfactant", *Ground Water*, Vol. 27, pp. 223-236.