

Mattress/Filter용 Slag의 수리학적 안정성

Hydraulic Stability of Slag for Mattress/Filter

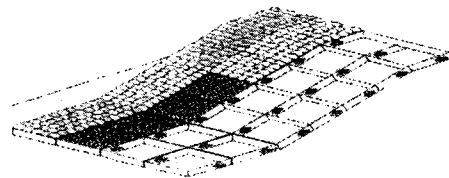
박재민¹⁾, 박기범²⁾, 지홍기³⁾, 이순탁³⁾

1. 서론

자연하천이나 수로의 사면을 보호하거나 하천수질개선을 위하여 사용하는 Mattress는 <그림1.1>과 <그림1.2>에서 보는바와 같이 외부에 철망같이 투수성이 높은 재료를 사용하고, 내부에다 Filter용 채움재를 넣어 일정한 모양의 틀을 가지게 되면 사면의 침식, 세굴을 유도하는 하천흐름에 저항하는 역할을 한다. Slag와 같이 외력에 저항력이 강하고 하천 식생보호에 우수한 특성을 가진 재료는 하천보호용 Mattress로 아주 적합하다. 본 연구에서는 하천수질개선을 위하여 Mattress의 채움재로 Slag를 사용할 경우 Slag의 수리학적 안정성에 대하여 연구하는 것에 그 목적이 있다.



<그림 1.1> 채움재를 넣은 Mattress



<그림 1.2> 사면에 시공된 Mattress

이제까지의 연구자료를 찾아보면 Mattress의 채움재로 사용되는 Slag에 대한 연구자료는 상당히 미흡한 실정이다. 따라서 제반 연구실험을 통하여 토목재료로서 Slag의 활용 가능성을 검토하고 새로운 토목재료로 사용할 수 있도록 조건에 맞추어 수리학적 안정성을 검토하였다.

2. Slag의 수리학적 안정성 검토

Slag는 철강의 제조 공정에서 철의 원료인 철광석 등으로부터 철을 분리하고 남은 암석성분으로 시멘트원료, 건설토목용 재료 등 활용분야가 무한한 환경 친화적 재료이다. 또한 Mattress/Filter 구조물은 항상 하천의 흐름과 접하고 있어서 수리학적인 검토가 명확히 이루어져야 한다. 그러므로 Filter의 재료인 Slag에 대해 소류력과 유속, 변형, 침식저항에 대하여 수리학적인 분석을 통해 각각의 안정성을 검토하였다.

2.1 Slag의 소류력에 대한 안정성 검토

수로와 하천수사이의 면에서 발생하는 유효전단응력과 수로의 재료인 Slag에 관계되는 허용전단응력을 각각 비교함으로써 근거를 마련한다. Slag를 채움재로 사용한 Mattress는 채움재(Slag)의 유동이 없을 때 안정하다고 할 수 있고 사석 호안공과는 달리 Slag Mattress는 철망 내에 Slag로 채워지고 안정성의 한계는 소류력에 의하여 Slag가 응집된 상태에서 분리되기 직전인 초기거동 응력지점과 같다. 그러므로 수로바

1) 영남대학교 대학원

2) 영남대학교 대학원

3) 영남대학교 토목도시환경공학부 교수

닥에서 Mattress Slag의 전단응력 τ_b 은 식 (1)에서 구할 수 있다.

$$\tau_b = \gamma_w y i \quad (1)$$

여기서, γ_w : 물의 비중, y : 수심, i : 수로바닥의 경사이다.

같은 크기를 가지는 자갈 또는 돌은 Shield의 무차원 실험계수인 Shield 계수로서 정의된 식 (2)에서 주어진 채움재(하상보호공에서 자갈 또는 돌의 50%를 통과하는 체크기)의 크기는 평균직경 d_m 과 동일하다.

$$C^* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) d_m} \quad (2)$$

여기서, τ_c : 초기거동의 한계상태일 경우의 전단응력, γ_s : 자갈 또는 돌의 비중이다.

식 (2)에서 $(\gamma_s - \gamma_w) d_m$ 은 채움재의 수중단위중량 때문에 바닥에서 수직응력에 비례한다. 따라서 Shield 계수는 마찰계수와 유사하고 수로바닥에서 전단응력은 채움재의 변형 없이 도달될 수 있으며, 그 결과 한계전단응력 τ_c 는 식 (3)과 같다.

$$\tau_c = C^* (\gamma_s - \gamma_w) d_m \quad (3)$$

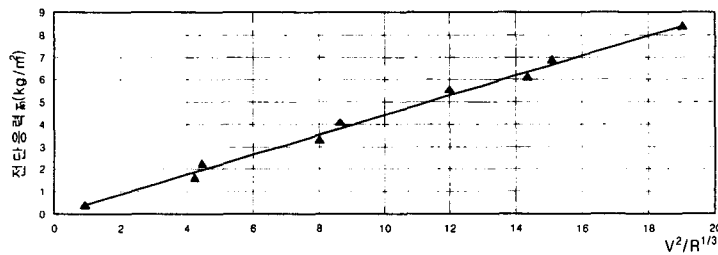
따라서 Mattress Slag는 식 (1)과 식 (3)을 비교해서 얻은 부등식인 식 (4)를 증명할 수 있으면 안정하다고 할 수 있다.

$$\tau_b \leq \tau_c \quad (4)$$

한편 Agostini, R. 등(1988)에 의하면 철망에 채워지지 않는 느슨한 사석 호안공에 대한 Shield 계수는 $C^* \approx 0.047$ 이며, 철망에 채워진 자갈 또는 돌로 구성된 Mattress 호안공에 대한 Shield 계수는 $C^* \approx 0.10$ 이다.

2.2 Slag의 유속에 대한 안정성 검토

전단응력은 주어진 유속에 대해서 Mattress를 안정화시키는데 제어하는 기능을 하며, 수심이 커질 때 전단응력의 감소로 인하여 안정성은 증가하고 Slag Mattress 또한 같은 효과를 나타낼 것이다.



<그림 1> 유속, 동수반경, 전단응력과의 관계

<그림 1>은 뒤에 나오는 식(5)와의 관계를 나타낸 것이다. <그림 1>에서 직선은 조도계수 $n=0.025$ 라는 가정 하에 결정되었다. 실험으로부터 얻은 결과는 식(5)와 상당히 일치하고 있음을 알 수 있다. 식(5)에서 보는바와 같이 유속과 전단응력은 동수반경과 반비례하는 것으로 나타나고 있다. 그리고 전단응력은 유속과 관계가 깊으며 수심과는 관련이 적게 나타났다.

$$\tau_m = \gamma_w n^2 \frac{v^2}{R^{1/3}} \quad (5)$$

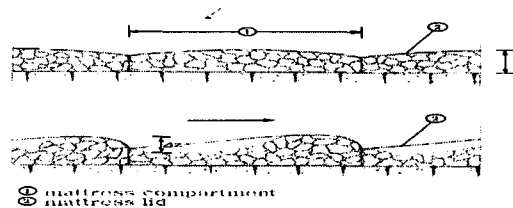
2.3 Slag Mattress의 변형에 대한 안정성 검토

전단응력이 초기거동의 한계치에 도달하면, 철망내의 Slag는 하류쪽으로 거동하게 될 것이다. 또한 전단응

력이 철망의 한계치를 초과할 경우 Mattress의 능력을 상실하게 될 것이다. 그러나 Slag에서 변형이 발생하더라도 철망의 한계치를 넘지 않는다면 새로운 평형상태에 도달할 것이다. 그리고 Mattress 아래에 유속이 크게 변하지 않으므로 바닥의 흩이 드러나지 않는 한 변형 후에도 변화는 발생되지 않는다. 변형의 정도를 추정하기 위해서 매개변수 $\Delta z / d_m$ 가 사용된다. 여기서, Δz 는 <그림 2>에서 Mattress 하상보호공 구간 내에 가장 높은 채움자갈(Slag) 또는 석재 표면과 가장 낮은 채움자갈(Slag)의 차이이며, Mattress 구간의 상류측 채움 자갈 또는 돌의 두께 감소는 $\Delta z/2$ 이다. 따라서 바닥 흩이 흐름에 직접적으로 드러나지 않고 보호되기 위한 조건은 식 (6)을 만족해야 한다.

$$\frac{\Delta z}{d_m} \leq 2 \left(\frac{t}{d_m} - 1 \right) \quad (6)$$

여기서 t는 Mattress 호안공의 두께이다.



<그림 2> 유속에 따른 Mattress의 변형

2.4 Mattress 경계면에 위치한 Slag의 침식저항에 관한 검토

대부분 수면 혹은 수중에 위치한 Slag Mattress는 하천흐름으로 인해 침식, 세굴현상이 발생므로 유속을 측정하여 Filter의 두께를 결정하여야 한다. 매트리스와 바닥 흩과의 경계면에서의 침식저항은 유속을 측정하면서 구할 수 있고, 유속은 바닥의 재료에 따라 허용유속보다 작아야 한다. 경계면의 유속은 식(7)과 같다.

$$v_b = \frac{1}{n_f} \left(\frac{d_m}{2} \right)^{2/3} i^{1/2} \quad (7)$$

여기서, n_{filter} 는 조도계수(필터섬유:0.020, 자갈필터:0.025)이다. 유속 V_b 는 바닥 재료와 경계면에서 허용유속 V_c 와 비교되어야 한다. 필터섬유는 Mattress 아래에서 사용되고 필터를 통하여 지나가는 흐름 유속은 감소되며 이는 필터섬유 두께의 함수가 된다. 만약 Mattress 아래에서 유속이 허용값보다 여전히 더 크다면 자갈필터를 사용하는 것이 권장된다. 일반적으로 자갈필터는 0.15m~0.20m 사이의 두께가 요구된다. 그리고 식(8)보다는 커야한다.

$$S = \frac{d_v}{f} \left[1 - \left(\frac{v_e}{v_b} \right)^2 \right] \quad (8)$$

<표 1. 재료별 허용유속>

흩 형태	허용유속(m/s)
Fine sand	0.760
Sand and gravel	1.500
Coarse gravel	1.800
Cobbles & Shingles	1.670
Shales & Hardpans(cohesive)	1.800
Silts with Cobbles(cohesive)	1.670

3. 결론

지금까지 여러 기관에서 수로면의 안정성을 확보하기 위하여 다양한 방법을 개발하여 왔다. Slag Mattress

는 이러한 경우에 적합한 호안공법으로 수로면의 침식을 억제하고 수로의 안정화에 사용되고 있다. 또한 Slag 와 같이 외력에 저항력이 강하고 하천 식생보호에 우수한 특성을 가진 재료는 하천보호용 Mattress로 아주 적합하다. 따라서 Slag Mattress에 대한 수리실험에 의한 안정성 검토에 대한 결과는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- 1) Slag Mattress 호안공의 Shield 계수는 사석 호안공의 약 2배 정도이고, 이것은 동일한 수리학적 조건에서 Mattress에 사용된 Slag의 평균입경이 사석의 1/2입을 의미한다. 또한, 동일한 입경의 Slag가 채움재로 사용될 때 허용유속에 대해서 Mattress의 경우 사석보다 거의 2배 이상 안정하다.
- 2) 사석 호안공은 한계조건에 도달하면 흐름에 의해 입자들이 분리되면서 파괴되는 반면, Mattress의 경우는 초기 거동조건의 범위를 넘어 한계조건에 도달할지라도 철망에 의해 각각의 입자들은 분리가 억제된다. 또한 변형된 Mattress일지라도 새로운 평형상태를 얻을 수 있으며, 그 이상의 변형과 악조건에도 저항하고 있었다.

따라서 수로바닥의 안정은 Slag Mattress 호안공이 가장 보편적인 공법이라고 할 수 있으며 더욱이 Filter의 재료로 Slag를 사용하면 콘크리트블록 형태의 인공재료 대신에 산업폐기물(Slag), 건설폐기물(폐콘크리트) 등을 재활용할 수 있으므로 저렴하고, 축조 후 유지관리에도 용이하며 생태계의 보존에도 매우 우수한 것으로 알려져 있어서 Slag의 사용은 아주 바람직하다고 할 수 있다.

References

1. 지흥기, 배상수, 임기석, 이순탁(2000). 돌망태를 이용한 제방법면의 보호공법, 대한토목학회, 학술발표회 논문집.
2. 지흥기, 배상수, 임기석, 허수영(2001). 돌망태를 이용한 호안구조물의 수리학적 특성, 한국수자원학회, 학술발표회 논문집.
3. 지흥기(2001). 돌망태를 이용한 방재 및 친환경적 수리구조물 개발, 행정자치부 국립방재연구소, 방재행정 세미나, 제6집.
4. 지흥기(2001). Gabion을 이용한 방재 및 친환경 구조물, 영남대학교부설 방재연구소, 시설물방재와 친환경 건설 학술심포지움 논문집.
5. Simons, D. B., Chen, Y. H. and Swenson, L. J. (1983). Hydraulic Test to Develop Design Criteria for the Use of Reno Mattresses, *Officine Maccaferri Technical Report*, Fort Collins, Colorado.
6. Simons, D. B., Hi, R.H. and Liang, W. S. (1981). Design Guidelines & Criteria. Channels & Hydraulic Structures on Sandy Soils, *Officine Maccaferri Technical Report*, Fort Collins, Colorado.
7. Fiuzat, A. A., Chen, Y. H. and Simons, D. B. (1982). Stability Tests of Rip-Rap in Flood Control Channels, *Officine Maccaferri Technical Report*, Fort Collins Colorado.
8. Maynard, S. T. (1989). "Riprap Design." *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 115(7)
9. Maynard, S. T. (1995). Gabion-mattress Channel Protection Design, *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 121(7)