

모르타르 타설 방법에 따른 하상보호공의 안정성 평가

김종태¹, 김창성^{1*}, 강준구¹, 여흥구¹
¹한국건설기술연구원 하천실험센터

The Evaluation of Bed Protection as Placing Methods of Mortar

Jong-Tae Kim¹, Chang-Sung Kim^{1*}, Joon-Gu Kang¹ and Hong-Koo Yeo¹

¹River Experiment Center, Korea Institute of Construction Technology

요 약 본 연구는 육상 및 수중 타설을 통한 SPF 공법의 하상보호능력을 평가하는 것이 목적이다. 이를 위해 실제 하상보호공의 1/10 축소모형 매트를 제작하여 육상과 수중에서 모르타르를 타설했으며 실험을 통해 각 매트의 한계유속을 평가하였다. 실험 결과 매트는 대부분 수로 중앙부의 지지력 감소로 파괴가 발생했으며 상대적으로 유속이 약한 수로 가장자리에서 안정성을 확보하였다. 한계유속 분석 결과 육상타설은 6.51 m/s, 수중타설의 경우 9.80 m/s가 안정성을 확보할 수 있는 유속인 것으로 나타났으며 0.50 m 두께의 SPF매트를 콘크리트 블록으로 대체할 경우 최대 2.21 m 두께가 필요한 것으로 계산되었다.

Abstract This study was to compare the protection abilities of an SPF through ground or underwater casting. A mat of 1/10 scale was made and then mortar was placed on the ground and submerged conditions. A limit velocity of each mat was estimated with this experiment. As a result of the test, the mat failed because of the decrease of bearing power in the center of the waterway. On the one hand, the edge of the mat, where the velocity is slow, secures stability. The result of the limit velocity analysis suggests that a velocity of ground placement with 6.51m/s and underwater casting with 9.80m/s is the minimum to ensure stability. When SPF mat with a thickness of 0.50m is replaced with a concrete block, it is calculated to need a maximum thickness of 2.21m.

Key Words : Ground casting, Limit velocity, Scour protection, SPF, Underwater casting,

1. 서론

하천 내 인공 구조물의 경우 인간의 편리한 생활을 위해 반드시 필요하지만 구조물의 안정성 뿐만 아니라 하류의 세굴 문제도 해결되어야 한다. 특히 세굴의 경우 구조물의 안정성과 직접적으로 연관이 있기 때문에 세계적으로 공통되는 중요한 문제이다. 국내외 교량 파괴의 원인은 세굴에 의한 파괴가 대다수이며 대하천보다 중소하천의 교량파괴가 대부분을 차지하고 있다[1-3]. 이런 이유로 세굴 특성 및 수리학적 분석에 대한 연구가 전세계

적으로 발표되고 있다[4-10].

하상에는 하천 유수의 흐름특성, 유역특성, 하상구성물질 등 다양한 요소들에 의하여 세굴 또는 퇴적이 발생한다. 하천 유속이 큰 경우는 하상에 퇴적보다는 세굴이 발생하지만 반대로 유속이 느린 구간에서는 세굴보다 퇴적이 발생하며 자갈이나 모래 등 비교적 입자가 큰 조립질의 퇴적물이 쌓인다. 국내 하천의 경우 모래하천이 다수 분포하고 있으며 입자들이 느슨한 조직으로 구성되어 있어 소규모의 압력에도 세굴이 발생할 수 있으며 특히 인공구조물의 설치는 구조물 상하류의 낙차로 인한 압력

본 논문은 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신 C02)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Chang-Sung Kim(KICT)

Tel: +82-54-843-1815 email: csckim@kict.re.kr

Received December 19, 2013 Revised January 24, 2014 Accepted February 5, 2014

을 발생시켜 바닥 침식이 빠르게 진행된다. 이런 이유로 수리모형실험, 수치해석 등을 통해 세굴에 대한 원인 및 대책을 찾는 연구가 활발하게 이루어지고 있으나 하상보호공법의 한계능력 및 평가에 대한 연구는 부족하다 [11-13].

최근 토목섬유에 모르타르나 콘크리트를 주입하여 제작한 매트는 하상보호공으로 많이 사용되고 있다[14]. 이 공법은 빠른 시간 내에 적용이 가능한 장점이 있으며 현장에서 수중타설도 가능하다. 또한 막대모양(bar)이나 격자모양(mesh)으로 형태 변경이 가능하며 주입에 따라 유연성을 가지기 때문에 하상형태에 상관없이 설치 가능하다[15]. 그러나 국내의 경우 표준화된 시험방법이 아직 수립되지 못했고 국외의 기법을 적용하기에도 무리가 있기 때문에 안정성 평가가 반드시 필요하다.

따라서 본 연구에서는 토목섬유를 이용한 하상보호공법 중 세굴 방지를 위해 개발된 SPF(Scouring Protection Form) 공법을 육상타설과 수중타설로 나누어 각각 한계유속을 비교하고 안정성을 평가하였다. 실험용 매트의 경우 실제 하상보호공의 1/10 축소모형을 제작하여 모형 실험을 실시하였으며 유속을 단계별로 조절하여 한계유속을 측정하였다. 또한 모형의 한계유속에 운동학적 상사를 적용하여 실제 하천에 설치된 공법의 안정성 확보를 위한 한계유속 및 콘크리트 블록을 이용한 대체공법의 최소 크기를 제시하였다.

2. 실험현황 및 방법

2.1 현황

하상보호공법이 적용된 지역은 낙동강 본류로써 북서방향에서 남동방향으로 흐름이 발생하고 있으며 지질은 경상남북도에 걸쳐 널리 분포하는 중생대 백악기에 속하는 경상계층으로 구성된다. 하천 구조물 및 SPF 공법이 적용된 위치의 모암은 신라통의 진동층으로 이암, 세일, 사암 등으로 구성되어 있으며 상하부층으로 각각 팔용산 응회암과 함안층이 분포하고 있다[16]. 또한 최상위층은 미고결 퇴적층인 충적층으로써 대부분 모래로 구성되어 있어 세굴 방지공법이 반드시 필요하므로 침식 및 세굴 방지를 위해 모래 상부에 사석을 덮고 토목섬유를 이용한 하상보호공법(SPF)을 적용하였다.

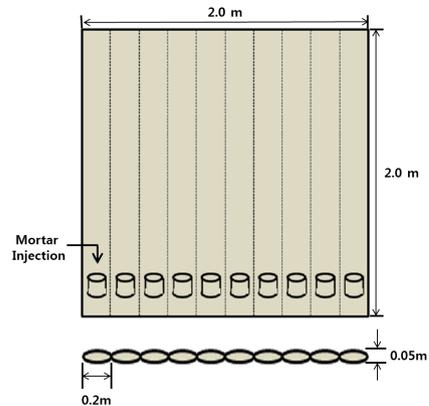
2.2 실험조건 및 방법

본 연구에서는 토목섬유를 매트형으로 제작하고 모르타르를 주입하는 방법으로 하상보호공을 제작하였으며

하상폭 4 m, 제방폭 11 m의 실규모 수로에서 실험을 실시하였다. 실규모 실험은 경북 안동에 위치한 한국건설기술연구원 하천실험센터의 직선수로 구간에서 수행하였다. 실험은 육상에서 모르타르를 타설하여 제작한 후 매트를 수로로 이동하는 육상타설 조건과 수심을 확보한 상태에서 모르타르를 수중에서 타설하여 매트를 제작하는 수중타설 조건으로 나누어 실시하였다. Fig. 1(a)는 0.5 m 내외의 사석을 이용한 바닥보호공이 설치된 수로이며 Fig. 1(b)는 수중타설 시 수위확보를 위한 하류지역의 물막이벽을 나타낸다.



[Fig. 1] Experiment channel
(a) Channel bed (b) Temporary gate



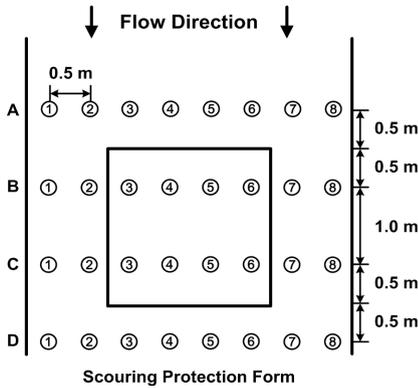
[Fig. 2] Mat of SPF method

축소모형은 실규모 크기(20 m × 20 m × 0.5 m)의 1/10 축소모형(2.0 m × 2.0 m × 0.05 m)으로 제작하였다. 토목섬유 매트인 SPF 공법의 형태는 Fig. 2와 같이 0.2 m 폭의 막대모양(bar)으로 구성되어 있으며 하류에서 상류로 모르타르를 주입하는 형태이다. 실험은 바닥보호공이 있는 상태에서 매트가 파괴될 때까지 유속을 단계적으로 증가시켜 한계유속을 측정하였다. 각 단계별 유속시간은 5시간이며 파괴가 발생하지 않을 경우 고유속의 다음 단계에서 실험을 진행하였다. 유속은 4개의 측선에서 측정하였으며 측점은 0.5 m 간격으로 총 8개로 구성되어 있다(Fig. 3). 사용된 유속계는 프라이스 유속계(Rickly

Price Current Meter)이며 유량측정은 1점법으로 3번 측정하여 평균값을 사용하였다. 한계유속 도달 시 매트 이동 거리를 측정하기 위해 측량장비(Sokkia Reflectorless Total Station SET 550RX)를 사용하였으며 파괴 당시의 양상을 파악하기 위해 영상촬영을 실시하였다. Fig. 4는 육상타설과 수중타설에 의한 SPF 공법 매트의 제작과정을 나타내며 Fig. 5는 각 축소모형을 제작한 후 수로에 설치한 사진이다.



[Fig. 5] Installation of scale model(1/10)
(a) Ground casting (b) Underwater casting



[Fig. 3] Scale of mat and measurement locations



[Fig. 4] Production process of mat
(a) Concrete casting at the ground
(b) Concrete casting at the underwater

3. 실험결과

3.1 육상타설매트

육상타설 축소모형의 경우 총 3단계에 걸쳐 실험을 실시하였으며 3단계 유속 도달 20분 후 매트의 파괴가 발생하였다. 전반적으로 수로 중앙부에서 고유속이 나타났으며 매트 하류부(D 측선)에서 최대 유속의 측정되었다.

Table 1은 육상 타설에 대한 각 단계별 측정값으로써 1단계의 경우 매트 상류부(A 측선)의 평균유속은 1.84 m/s였으며 최대유속은 2.19 m/s로 나타났다. 2단계에 대한 측정결과 매트 상류부의 평균유속은 2.06 m/s였으며 최대유속은 2.45 m/s로 나타났으며 3단계의 경우 매트의 파괴가 발생하여 매트 상류부의 유속만 측정하였다. 파괴 당시 매트 상류부의 평균유속은 2.21 m/s였으며 최대유속은 5번 측정에서 2.60 m/s로 나타났다. 파괴당시의 양상을 분석하면 고유속이 발생한 중앙부에서 매트가 들리면서 지지력이 감소했으며 매트는 상대적으로 유속이 약한 수로 가장자리에서 안정성을 확보하였다(Fig. 6).

[Table 1] Result of experiment for ground casting

Case		Measuring point	Measuring point							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	A	Velocity (m/s)	1.51	1.55	1.85	2.09	2.19	1.52	2.08	1.90
	B		1.48	1.74	2.02	2.05	2.05	1.95	1.72	1.79
	C		1.35	1.49	2.05	2.13	2.10	2.25	1.85	1.71
	D		1.04	1.46	1.88	2.07	2.92	1.85	1.75	1.51
2	A		1.59	1.61	2.11	2.33	2.45	1.87	2.16	2.33
	B		2.24	2.25	2.27	2.37	2.35	2.17	2.19	2.26
	C		1.78	2.14	2.34	2.34	2.49	2.32	2.04	2.14
	D		1.48	2.19	2.11	2.59	2.49	2.14	2.15	2.22
3	A		1.86	1.87	2.24	2.45	2.60	1.96	2.46	2.27



[Fig. 6] Failure process after limit velocity(ground casting)

3.2 수중타설매트

수중타설 축소모형의 경우 총 5단계에 걸쳐 실험을 실시하였으며 5단계 유속 도달 254분 후 매트의 파괴가 발생하였다. 전반적으로 수로 중앙부에서 고유속이 나타났으며 매트 하류부(D 측선)에서 최대 유속이 측정되었다.

Table 2는 수중타설에 대한 각 단계별 측정값으로써 1단계의 경우 매트 상류부(A 측선)의 평균유속은 1.19 m/s였으며 최대유속은 1.33 m/s로 나타났다. 2단계에 대한 측정결과 매트 상류부의 평균유속은 1.78 m/s였으며 최대유속은 2.29 m/s로 나타났으며 3단계에서 매트 상류부의 평균유속은 2.66 m/s였으며 최대유속은 3.21 m/s로 나타났다. 4단계의 경우 매트 상류부의 평균유속은 3.10 m/s, 최대유속은 3.33 m/s이며 매트 파괴가 발생한 5단계에서 매트 상류부의 평균유속은 3.40 m/s, 최대유속은 5

번 측정점의 3.57 m/s로 나타났다. 파괴당시의 영상을 분석하면 고유속이 발생한 중앙부에서 매트가 들리면서 지지력이 감소하였으며 매트는 육상타설과 마찬가지로 상대적으로 유속이 약한 수로 가장자리에서 안정성을 확보하였다(Fig. 7).



[Fig. 7] Failure process after limit velocity(underwater casting)

3.3 실험결과 분석

본 연구에서는 매트 직상류부인 A 측선의 유속값을 이용해 매트의 한계유속을 평가하였으며 매트의 파괴가 발생하기 전 case의 측정값을 한계유속(Model limit velocity)으로 사용하였다. Table 3은 안정성을 확보할 수 있는 유속을 나타내는 표로써 육상타설과 수중타설의 안정성을 확보할 수 있는 한계유속은 각각 2.06 m/s, 3.10

[Table 2] Result of experiment for underwater casting

Case	Measuring point	1	2	3	4	5	6	7	8
		Velocity (m/s)							
1	A	1.12	1.29	1.14	1.25	1.33	1.19	1.06	1.10
	B	1.03	1.41	1.26	1.76	1.18	1.33	1.21	0.89
	C	1.19	1.29	1.16	1.79	1.34	1.49	1.59	1.12
	D	1.00	1.61	1.50	2.03	1.90	1.81	1.85	1.43
2	A	1.40	1.98	1.41	2.29	2.05	1.94	1.88	1.30
	B	1.40	1.96	1.54	2.11	2.21	1.87	1.74	1.38
	C	1.36	1.94	1.70	2.16	2.34	2.17	2.20	1.74
	D	1.49	2.10	1.96	2.25	2.44	2.38	2.16	1.67
3	A	2.49	2.54	2.56	3.21	3.05	2.75	2.48	2.22
	B	2.42	2.69	2.45	3.20	2.94	2.81	2.24	2.22
	C	2.32	2.64	2.29	3.22	2.92	2.75	2.27	2.38
	D	2.11	2.54	2.41	3.08	2.96	2.93	2.51	2.43
4	A	3.17	3.17	3.00	3.32	3.33	3.20	2.93	2.71
	B	2.86	3.13	3.08	3.40	3.37	3.42	2.95	3.89
	C	2.80	3.05	2.80	3.55	3.27	3.32	2.92	3.02
	D	2.88	2.86	2.81	3.53	3.48	3.33	2.78	2.90
5	A	3.32	3.07	3.24	3.51	3.57	3.48	3.46	3.53
	B	3.53	3.42	3.30	3.69	3.60	3.54	3.50	3.27
	C	3.28	3.34	3.33	3.74	3.70	3.59	3.33	3.48
	D	3.32	3.30	3.12	3.59	3.72	3.58	3.30	3.40

m/s 인 것으로 나타났다. 또한 Froude 모형법칙의 운동학적 상사를 적용할 경우 실제 하천에서의 육상타설과 수중타설의 한계유속은 각각 6.51 m/s, 9.80 m/s로 계산되었다. 이는 수중타설을 기준으로 육상타설은 66.45 % 정도라서 수중타설의 경우 접착력과 사석의 모양에 따라 매트가 만들어져 조도가 높아진 것으로 판단되며 이로 인해 육상타설 매트보다 한계유속이 높은 것으로 나타났다.

[Table 3] Analysis of limit velocity by concrete casting

Spec.		Ground casting	Underwater casting
size(m)		2.0×2.0	2.0×2.0
Velocity (m/s)	case 1	1.84	1.19
	case 2	2.06	1.78
	case 3	2.21	2.66
	case 4	-	3.10
	case 5	-	3.40
Model limit velocity		2.06	3.10
Prototype limit velocity		6.51	9.80

앞서 도출된 매트의 세굴보호성능을 정량적으로 비교하기 위해 제안한 Escarreira and May[17] 식을 적용하여 콘크리트 블록으로 대체할 경우의 블록 크기를 산정하였다. 콘크리트 블록을 활용한 세굴보호의 경우 아래의 식으로 계산된다.

$$d_{n50} = C_T \frac{U_b^2}{2g(s-1)}$$

여기서, d_{n50} : 콘크리트의 두께

(또는 사석의 중앙입경), m

C_T : 난류강도 (TI)와 관련된 계수,

$$C_T = 9.22TI - 0.15$$

TI : 세굴발생조건에 따른 난류강도,

$$0.50 \sim 0.60$$

g : 중력가속도 (=9.81 m/s²)

s : 블록의 비중 (1.8~2.0)

U_b^2 : 저면 접근유속

$$(=0.82U, U: 수심평균된 유속)$$

계산결과 아래의 Table 4와 같이 블록의 두께는 난류강도 (TI)에 따라 육상타설의 경우 1.22 m ~ 1.47 m, 수중타설의 경우 1.83 m ~ 2.21 m의 두께로 나타났다. 이는 하상보호를 위해 설치되는 0.50 m 두께의 SPF 매트를 콘크리트 블록으로 대체할 경우 수중타설일 때 최대 2.21 m의 두께로 설치되어야 함을 의미한다.

4. 결론

하천에 설치되는 구조물은 수위차로 인해 세굴을 발생시킬 수 있다. 그러나 세굴방지를 위해 적용되는 하상보호공법의 안정성 평가에 대한 연구는 미흡하므로 본 연구에서는 토목섬유를 이용한 하상보호공법인 SPF 공법의 한계유속 및 안정성 평가에 대한 실험을 실시하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) SPF 공법 매트의 경우 실제 하상보호공의 1/10 축소모형으로 제작하였으며 육상타설과 수중타설로 나누어 실험을 하였다. 육상타설의 경우 제방에서 제작 후 하상으로 이동하였으며 수중타설의 경우 물막이벽을 만들어 수위를 확보한 후 수중에서 모르타르를 타설하여 제작하였다.
- 2) 매트의 파괴는 타설 방법과 상관없이 수로 중앙부의 지지력 감소로 발생했으며 Froude 모형법칙을 적용한 결과 토목섬유를 이용한 하상보호공의 경우 육상타설은 6.51 m/s, 수중타설의 경우 9.80 m/s의 유속이 안정성을 확보할 수 있는 최소유속인 것으로 나타났다. 그러나 매트에 주입되는 모르타르 양에 따라 파괴유속의 차이가 발생할 수 있으므로 수중 타설 시 정확한 모르타르의 주입이 필요한 것으로 판단된다. 또한 SPF 매트의 성능은 콘크리트 블록으로 대체할 경우 최대 2.21 m 두께가 필요하며 케이블이나 서로 물린 형태의 블록으로 대체 가능한 것으로 확인되었다.
- 3) 향후 하상보호공의 정확한 안정성 평가를 위해 다양한 크기의 축소모형에 대한 반복실험이 필요하며 모르타르의 정량적인 주입 및 중량과 유속 관계에 대한 분석이 요구된다. 또한 하상보호공의 파괴형태가 대부분 전면부의 들림 현상에 의한 것이므로 매트 앞부분이 들리는 현상을 방지하기 위한 대책도 필요하다.

[Table 4] Analysis of thickness on prototype mat and concrete block.

	Prototype limit velocity (m/s)	Thickness of prototype mat (m)	Thickness of concrete block (d_{n50} , m)
Ground casting	6.51	0.50	1.22 ~ 1.47
Underwater casting	9.80	0.50	1.83 ~ 2.21

References

[1] K. Wardhna, F. C. Hadipriono, Analysis of recent bridge failures in the united states, J. Perf. Constr. Fac., vol. 17, No. 3, pp.144-150, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2003\)17:3\(144\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2003)17:3(144))

[2] Y. M. Won, A study on real time scour observation and application of empirical formulas for safety of the Han river bridge, University of Seoul, 2005.

[3] Y. Y. Choi, Variation characteristics of the bed scour at stream bridge on the heavy rainfall, Journal of Korean Society of Water Science and Technology, vol. 17, No. 2, pp.161-174, 2009.

[4] W. K. Yeo, J. G. Kang, Field investigation of bridge scour depths in small and medium streams, Journal of the research institute of industrial technology Myong Ji University, vol, 17, pp.166-172, 1998.

[5] J. R. Leech, S. R. Abt, C. I. Thornton, P. G. Combs, Developing Confidence in Concrete Revetment Products for Bank Stabilization, Journal of the American Water Resources Association, vol. 35, No. 4, pp.877-885, 1999.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb04181.x>

[6] J. C. Paik, S. U. Choi, W. C. Cho, Hydraulic Properties of Concrete Block of Uniform Roughness Height for Bed Protection, Korean Society of Civil Engineers, vol. 19(II-6), pp. 677-686, 1999.

[7] S. R. Abt, J. R. Leech, C. I. Thornton, C. M. Lipscomb, Articulated Concrete Block Stability Testing, Journal of the American Water Resources Association, vol. 37, No. 1, pp.27-34, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb05472.x>

[8] P. Y. Julien, D. J. Anthony, Bed Load Motion and Grain Sorting in a Meandering Stream, Journal of Hydraulic Research, vol. 40, No. 2, pp.125-134, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00221680209499855>

[9] J. W. Cho, Stability of River Bed Protection Works in Downstream of an Apron, Gangneung-Wonju National University, 2007. \

[10] H. I. Park, J. H. Shin, Estimation of local scour at piers using artificial neural network, Journal of the Korean Geotechnical Society, vol. 24, No. 11, pp.17-24, 2008.

[11] Y. M. Chiew, Mechanics of riprap failure at bridge piers, Journal of Hydraulic Eng., Vol. 121, No. 9, pp.635-643, 1995.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1995\)121:9\(635\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:9(635))

[12] S. Lee, H. K. Park, The stability evaluation of river embankment for a piping phenomenon, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, vol. 7, No. 3, pp.175-181, 2003.

[13] K. Kwak, J. H. Park, H. S. Yoon, H. S. Woo, Bridge Scour Prioritization and Management System (II)-System verification-, Journal of Korean Society of Civil Engineers, vol. 26(2B), pp.197-208, 2006.

[14] C. S. Kim, J. T. Kim, J. G. Kang, Hydraulic Model Test on Scour Protection with Scale Effect, J. Korean Soc. Hazard Mitig., vol. 13, No. 6, pp. 375-379, 2013.

[15] Construction Industry Research and Information Association, Manual on scour at bridges and other hydraulic structures, C551, pp.129-146, 2002.

[16] N. J. Kim, H. K. Lee, Explanatory text of the geological map of Yongsan sheet(1:50,000), Geological survey of Korea, 1964.

[17] M. Escarameia, R. W. P. May, Channel Protection: Turbulence Downstream of Structures, Report SR313, HR Wallingford. 1992.

김 종 태(Jong-Tae Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 안동대학교 대학원 지구환경과학과 (이학박사)
- 2011년 11월 ~ 현재 : 한국건설 기술연구원 연구원

<관심분야>
하천수리학, 수리실험

김 창 성(Chang-Sung Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 명지대학교 대학원 토목환경공학과 (공학박사)
- 2009년 7월 ~ 현재 : 한국건설 기술연구원 연구원

<관심분야>
하천실험, 수공학

강 준 구(Joon-Gu Kang)

[정회원]



- 2002년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>
수리학, 토목공학

여 흥 구(Hong-Koo Yeo)

[정회원]



- 2000년 6월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>
수리학, 토목공학