

인천 해안지역 지반의 국지적 침식특성 평가

A Case Study on Local Erosion Characteristics Evaluation of the Incheon Coast

곽기석¹⁾, Kiseok Kwak, 이주형²⁾, Juhjung Lee, 박재현³⁾, Jaehyeon Park, 정문경⁴⁾, Moonkyung Chung

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, kskwak@kict.re.kr

^{2),3)} 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology

⁴⁾ 한국건설기술연구원 대외협력실 수석연구원, Research Fellow, International Cooperation & Public Information Division, Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : In this study, the effect of scour was evaluated by regional and geotechnical characteristics and back data were accumulate for the design against scour through the local erosion characteristics evaluation of the Incheon coast. The erosion characteristics for the undisturbed soil samples collected near the main locations at the Incheon 2nd bridge, the Hwangyeong bridge, and a coast road in Songdo, are determined quantitatively through the scour rate tests.

On the basic soil properties test, the bed around the Incheon coast chiefly consists of fined grained soils, and the soil samples were classified as silty clay(ML) or clay(CL) under the Unified Soil Classification System. On the scour rate test, the critical shear stress increases when the undrained shear strength increases as of the general trend of fine grained soils, and the average scour rate for the maximum velocity by 100 year flood is 173mm/hr at the Incheon 2nd bridge, 67mm/hr at the Hwangyeong bridge and 10mm/hr at a coast road in Songdo, respectively. Comparing to the scour rate of coarse grained soil, that of the bed around the Incheon coast is turned out to be very low. Therefore, the relative ability of the bed around the Incheon coast to resist erosion is assumed to be very high.

Key words : Erosion, Incheon coast, Scour rate test, Fine grained soil

1. 서 론

교량은 도로를 구성하는 대표적인 구조물로서 인간생활과 밀접한 연관성을 가지고 있는 사회기반시설이다. 급격히 증가하는 교통량으로 인해 그 중요성은 더욱 커지고 있는 실정이며, 이에 따라 교량구조의 안정성과 내구성의 확보가 강조되고 있다. 하지만 매년 구조적인 문제뿐만 아니라 여러 가지 요인으로 인해 피해를 입는 교량의 수가 점차 증가하여, 교량의 유지보수 및 교체에 많은 예산이 요구되고 있는 실정이다. 특히 홍수시 하천을 가로지르는 교량의 교각 및 교대 주변에서 발생하는 세굴로 인한 교량의 붕괴는 급속히 진행되어 인명의 안전에 심각한 영향을 미칠 뿐만 아니라, 교량의 교체나 보수, 우회도로의 건설, 또한 그로 인해 발생하는 교통시간의 증가, 불편 및 경제활동의 피해 등으로 인해 장기간에 걸쳐 사회와 경제에 막대한 손실을 끼칠 수가 있다.

국내외 연구보고에 의하면 교량 파괴의 가장 큰 원인은 교량자체가 가지고 있는 구조적 결함이 아니

라 홍수시 교대 및 교각 주위에서 발생하는 세굴로 인한 기초의 파괴이다. 세굴피해의 특징은 교량 상부구조물에서 흔히 발생하는 손상 정도가 국부적이거나 복구가능한 정도의 수준에 머물지 않고 교량기초의 파손 및 교량의 유실로 이어지는 교량의 완전 파괴로까지 연결된다는 점이다. 강 혹은 바다 위에 건설된 교량의 장수명화를 이루기 위해서는 세굴대책에 의한 교대 및 교각 기초의 장수명화가 선결되어야 한다. 따라서 교량의 안정성과 내구성의 확보를 위해서는 교량기초의 세굴 가능성을 평가, 해석하고 이에 따른 적절한 대책을 수립하여 극대홍수시에도 교량의 안전성을 확보할 수 있는 종합적인 대책 마련이 시급한 실정이다.

세굴현상은 흐르는 물에 의한 침식유발능력과 지반의 침식저항능력과 상호작용에 의하여 발생하는 자연현상이며, 하상물질의 종류에 따라 다르게 나타나는 침식저항능력으로 인해 상이한 양상을 띠게 된다. 일반적으로 조립토의 침식저항능력은 중력과 마찰력이 지배하여 비교적 단순한 반면, 세립토의 침식저항능력은 중력과 마찰력뿐만 아니라 흙입자의 물리·화학적 성질 및 전기적 성질에도 의존하여 매우 복잡한 양상을 보인다. 따라서 조립토에서는 하상에 작용하는 유체의 침식유발능력이 급격히 상승하는 경우, 단시간 내에 세굴이 발생하여 최대세굴심에 도달하는 반면, 세립토는 침식저항능력이 조립토에 비해 크고 저항메커니즘이 달라 상대적으로 느리게 침식이 진행된다(곽기석 외, 2001; 곽기석 외, 2004). 따라서 세립토 지반의 세굴해석모델은 침식유발인자와 저항인자를 모두 고려할 수 있는 메커니즘을 포함하고 있어야 하며, 그에 따라 해석에 사용되는 매개변수들을 결정하여야 한다.

본 연구에서는 인천 해안지역 지반에 대한 국지적인 침식특성 평가를 통하여 국내 지역 및 지반특성별 세굴영향을 파악하고 세굴설계 관련 제 기준 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다. 연구수행을 위하여 인천대교와 환경교, 송도 신도시의 호안도로 등 인천 해안지역 주변의 교량 및 호안도로 현장 3 곳을 선정하고 각 현장의 주요 지점에서 불교란 시료를 채취하여 기본 물성치 실험 및 세굴률 실험을 실시하였다. 세굴률 실험결과를 바탕으로 흐름에 대한 침식특성을 정량화하고 수리특성 및 지반특성을 고려한 합리적인 세굴특성을 평가하였다.

2. 인천대교

인천대교는 인천 송도신도시에서부터 인천항로를 건너 영종도 인천국제공항(IIA) 접속도로의 북동쪽을 잇는 해상고속도로이다. 동측 연결도로(인천측)는 인천대교를 제2경인고속도로 및 기존 해안순환도로에 연결하며, 서측 연결도로(영종도측)는 인천대교를 인천국제공항 고속도로 및 영종도 신간선도로에 연결한다. 인천대교는 왕복 6차로, 총연장 12.4km(해상교량 11.6km, 사장교 주경간 800m)로 구조형식에 따라 고가교, 접속교 및 사장교로 구성되어 있으며, 통행로 징수광장과 선박충돌방지공을 포함한다.

교량구간의 지층은 상부로부터 해성퇴적층, 풍화토, 풍화암, 연암 및 경암으로 구성되어 있으며, 세굴 발생이 예상되는 상부 해성퇴적층은 점토, 실트 등이 10~30 m 두께로 분포하고 있다. 본 구간의 최대 유속은 창조류 1.27m/s, 낙조류 1.6m/s이며 최대파고는 2.42m, 조차는 9.27m이다(여운광 외, 2005).

2.1 실험재료

인천대교 현장의 주요 교각들(W7, W9, W59, W62, E12, E47)에서 외경 76mm, 길이 0.8m의 박관튜브를 이용하여 16개의 불교란시료를 채취하였다. 세굴률 실험에 앞서 KS F(Koran Industrial Standards F) 방법에 따라 흙의 입도분석, 액소성한계시험, 비배수 전단강도 시험(실내 배인시험) 등 기본적인 흙의 물성치 실험을 실시하였다. 대부분의 흙은 실트나 실트를 함유한 점토로 구성되어 있으며, 통일분류법에 의해 SM, ML, CL 등으로 분류되었다. 특이한 점은 인천대교 사장교 구간을 중심으로 서측구간 지반은 대부분 실트로 구성되어 있는 반면 동측구간은 대부분 점토로 구성되어 있었다. 서측구간 중 교각 W59에서 채취한 시료는 다른 교각에서 채취한 시료들에 비해 더 많은 세립토(실트와 점토)를 함유한 것으로 분석되었다. 흙의 기본 물성치 실험결과와 세굴률 실험을 통한 한계전단응력을 표 1에 정리하였으며, 각 교각별 흙의 입도분포곡선을 그림 1 ~ 그림 3에 각각 나타내었다.

표 1. 시료의 기본물성치 및 한계전단응력 (인천대교)

교각	심도 (m)	비중	액성한 계 (%)	소성한 계 (%)	함수비 (%)	건조 단위중량 (t/m ³)	비배수 전단강도 (kN/m ²)	#200체 통과량 (%)	한계 전단응력 (N/m ²)	통일 분류
W7	2.0~2.8	2.64	29.3	-	35.3	1.37	43.9	44.9	1.03	SM
	2.8~3.6	2.64	28.7	-	31.2	1.45	44.2	47.2	0.28	SM
W9	2.0~2.8	2.68	26.4	-	34.5	1.39	39.2	41.1	0.11	SM
	2.8~3.6	2.67	25.1	-	33.8	1.41	34.3	38.9	0.07	SM
W59	3.0~3.7	2.53	23.6	-	33.4	1.37	45.7	60.9	0.75	ML
	3.7~4.3	2.63	21.5	-	33.2	1.40	53.6	54.2	0.96	ML
	4.3~5.2	2.68	21.4	-	31.5	1.45	49.6	57.0	0.92	ML
W62	0.0~0.8	2.67	29.3	-	32.9	1.42	46.2	52.3	0.49	ML
	0.8~1.6	2.74	24.8	-	38.2	1.34	43.1	49.7	0.18	SM
	1.6~2.4	2.47	24.7	-	33.4	1.35	45.9	48.7	0.37	SM
E12	0.0~0.6	2.64	-	-	24.2	1.61	32.5	14.4	0.10	SM
	0.6~1.3	2.66	34.3	19.2	36.9	1.34	53.1	68.3	2.19	CL
	1.3~2.0	2.65	27.3	18.2	34.7	1.38	55.3	58.8	2.52	CL
E47	1.5~2.1	2.73	19.4	-	30.2	1.49	46.7	46.0	2.02	ML
	2.3~3.0	2.61	33.4	18.7	25.9	1.56	56.7	79.5	2.41	CL
	3.5~4.2	2.72	33.6	16.6	26.8	1.57	58.9	90.9	3.89	CL

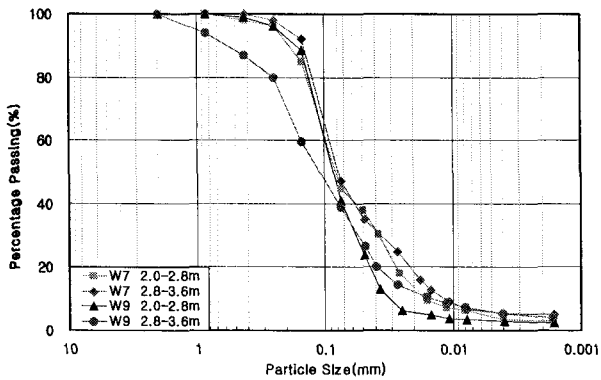


그림 1. 입도분포곡선(W7, W9)

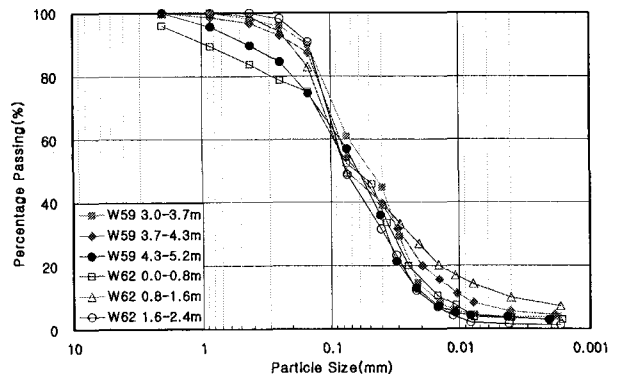


그림 2. 입도분포곡선(W59, W62)

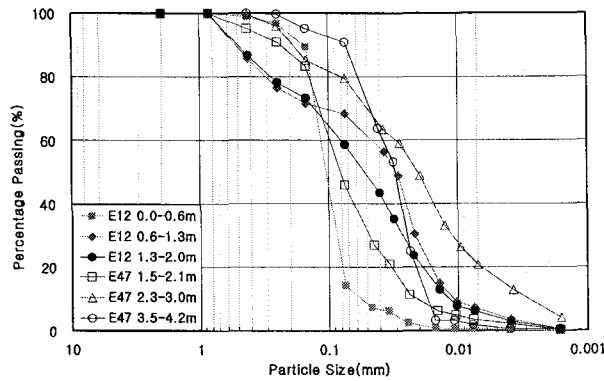


그림 3. 입도분포곡선(E12, E47)

2.2 세굴률 실험결과

세굴률 실험의 목적은 대상지반 고유의 정량적인 침식함수를 결정하는 것이다. 이 침식함수는 한계전단응력과 그 이후의 물에 의해 야기되는 전단응력과 지반의 침식률과의 관계로 구성된다. 각 교각별로 세굴률 실험을 실시하고 세굴률 실험결과인 세굴률-전단응력곡선을 그림 4에 각각 도시하였다.

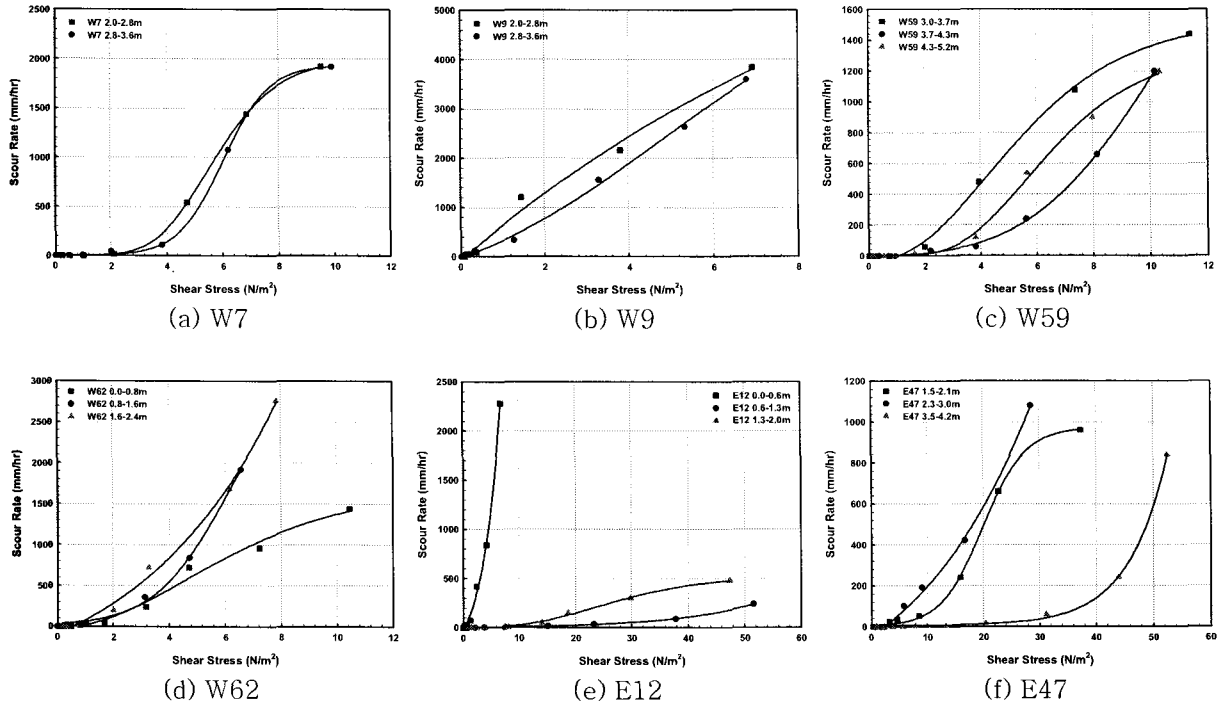


그림 4. 세굴률-전단응력 관계곡선 (인천대교)

인천대교 현장의 지반에 대하여 세굴률 실험과 기본물성치 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 기본물성치 실험결과 인천대교 현장의 지반은 대부분 세립토로 구성되어 있다. 통일분류법에 의해 대상 교량의 서측구간 지반은 모래질 실트(SM) 또는 실트질 점토(ML)로 분류되었으며, 동측구간 지반은 대부분 점토(CL)로 분류되었다. 세굴률 실험결과 한계전단응력은 실내 배인시험으로 구한 비배수 전단강도와 비례하는 일반적인 경향을 보였다.
- (2) 서측구간의 교각들 중 다른 교각들에 비해 지반이 더 많은 비점착성 흙입자(실트와 모래)를 함유하고 있는 W9의 경우 다른 교각들에 비해 더 낮은 한계전단응력과 동일한 유속에 대하여 더 큰 침식률을 보였다. 반면, 지반이 더 많은 세립분(실트와 점토)을 함유한 W59의 경우 상대적으로 더 큰 한계전단응력과 동일한 유속에 대하여 더 낮은 침식률을 보였다.
- (3) E12의 표층에서 시추된 E12 0.0~0.6m를 제외하고 동측구간의 시료들은 서측구간의 시료들에 비해 더 큰 한계전단응력과 더 낮은 세굴률을 보였다. 이는 동측구간의 시료들이 대부분 점착성을 띠는 점토입자들로 구성되어 있기 때문이다. 따라서 동측구간의 지반은 서측구간의 지반에 비해 세굴저항력이 뛰어난 것으로 판단된다.
- (4) 인천대교 지반에 대하여 지반에 교각이 없는 경우와 교각이 건설된 경우에 대하여 각각 최대유속에 의해 지반에 발생할 수 있는 전단응력과 그에 상응하는 침식률을 표 2에 정리하였다. 교각이 없는 경우 W9를 제외한 대부분 시료들의 침식률은 160mm/hr 이하의 값을 보였다. W9의 경우 지반에 교각이 없는 경우나 있는 경우 모두 가장 큰 침식률을 보여 대상교각 중 가장 세굴에 취약한 것으로 나타났다. 반면에 E12

의 표층시료를 제외한 동측구간 대부분의 시료들은 지반에 교각이 없는 경우와 있는 경우 모두 최대유속에 대하여 침식이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

표 2. 해상에 교각이 없는 경우와 교각이 있는 경우 각 지점별 침식률

교각	기초폭 (m)	말뚝직경 (m)	최대유속 (m/s)	심도 (m)	교각이 없는 경우		교각이 있는 경우	
					τ (N/m ²)	침식률 (mm/hr)	τ (N/m ²)	침식률 (mm/hr)
W7	4.872	2.436	0.99	2.0~2.8	2.42	31	4.57	467
				2.8~3.6	2.42	22	4.57	274
W9	4.872	2.436	0.94	2.0~2.8	2.21	1412	4.16	2523
				2.8~3.6	2.21	874	4.16	1988
W59	2.436	2.436	0.76	3.0~3.7	1.52	43	3.79	420
				3.7~4.3	1.52	10	3.79	78
				4.3~5.2	1.52	4	3.79	149
W62	2.436	2.436	0.73	0.0~0.8	1.42	56	3.55	372
				0.8~1.6	1.42	91	3.55	409
				1.6~2.4	1.42	160	3.55	694
E12	1.824	3.648	0.53	0.0~0.6	0.81	61	1.56	169
				0.6~1.3	0.81	0	1.56	0
				1.3~2.0	0.81	0	1.56	0
E47	2.436	2.436	0.33	1.5~2.1	0.35	0	0.71	0
				2.3~3.0	0.35	0	0.71	0
				3.5~4.2	0.35	0	0.71	0
평균 침식률(mm/hr)						173		471

3. 환경교

환경교는 굴포천 방수로 하류에 위치한 교량으로 총 길이 110m, 폭 30.9m의 왕복 6차로 교량이다. 굴포천 방수로 건설공사는 총사업비 5,539억원을 투입하여 인천시 계양구 굴현동에서 인천시 서구 경서동(서해)까지 인공 수로 14.2km를 폭 80m로 굴착하여 상습 침수지역인 굴포천 지역의 홍수량 전량을 서해로 방류하는 치수 대책사업으로 부속시설로 5개의 횡단교량이 건설 중이다. 이중 환경교는 가장 하류에 위치하는 교량으로 홍수 및 서해의 조석 간만 등의 영향으로 최대유속이 2.59m/s이고, 최대홍수위 발생시 유속이 1.52m/s이다.

3.1 실험재료

시추된 불교란 시료들의 물리적 특성은 표 3과 같으며, 실험방법은 전철의 인천대교의 경우와 동일하다. 기본 물성치 실험을 실시한 결과 대부분의 흙은 점토로 구성되어 있으며, 통일분류법에 의해 CL로 분류되었다. 특히 심도 11.0~12.0m의 경우 국부적으로 모래가 포함된 것이 육안관찰 되었다. 각 심도별 입도분포곡선은 그림 5와 같다.

표 3. 시료의 기본물성치 및 한계전단응력 (환경교)

심도 (m)	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수 (%)	건조 단위중량 (t/m^3)	비배수 전단강도 (kg/cm^2)	#200 통과량 (%)	한계 전단응력 (N/m^2)	통일 분류
6.0 ~ 7.0	2.72	43.0	22.3	20.7	1.374	3.50	98.0	16.12	CL
8.0 ~ 9.0	2.70	43.8	23.7	20.1	1.351	3.45	96.0	15.88	CL
10.0 ~ 11.0	2.69	40.3	21.1	19.2	1.377	3.10	94.7	8.50	CL
11.0 ~ 12.0	2.69	36.4	25.2	11.2	1.418	2.65	89.3	9.17	CL

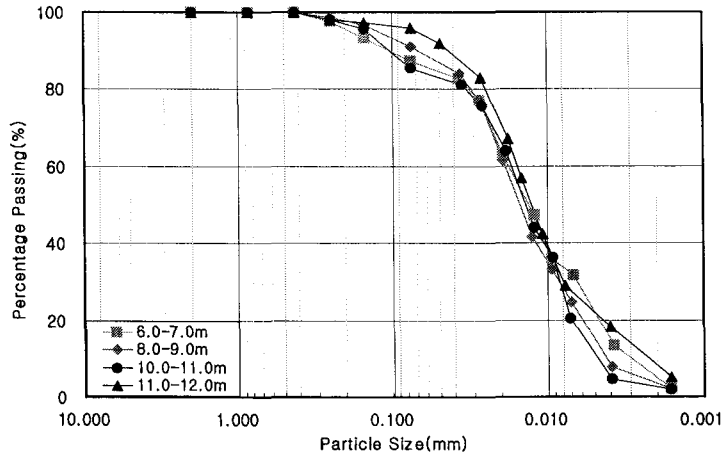


그림 5. 입도분포곡선 (환경교)

3.2 세굴률 실험결과

환경교 주변 지반의 각 심도별 세굴률-전단응력 관계곡선을 그림 6 ~ 그림 10에 각각 나타내었다.

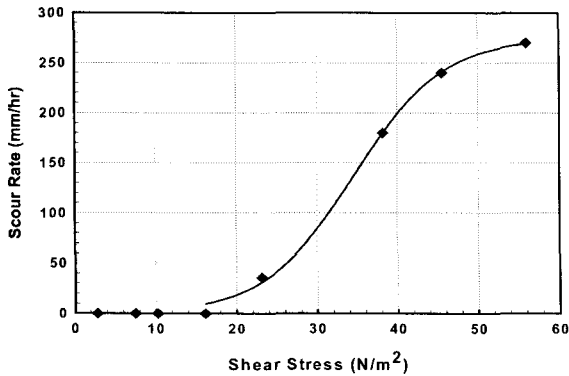


그림 6. 세굴률-전단응력 관계곡선(6.0~7.0m)

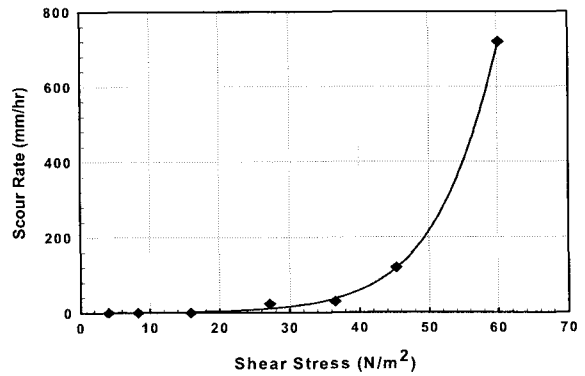


그림 7. 세굴률-전단응력 관계곡선(8.0~9.0m)

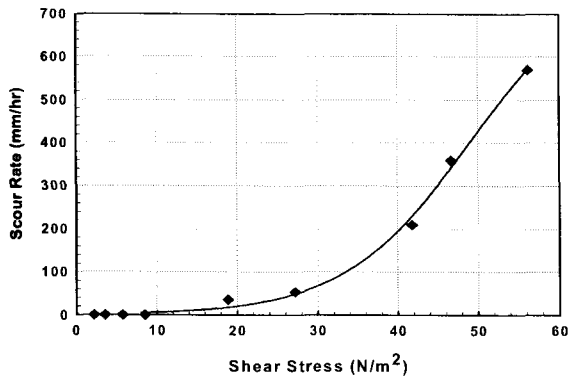


그림 8. 세굴률-전단응력 관계곡선(10.0~11.0m)

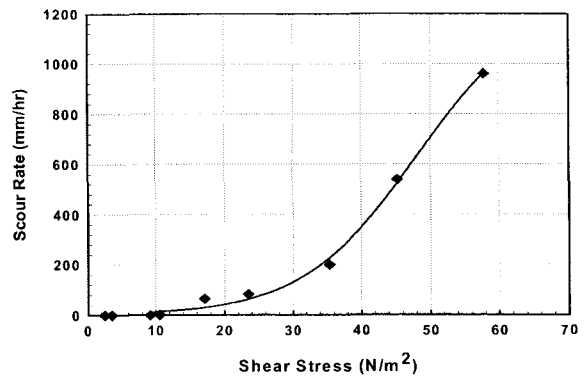


그림 9. 세굴률-전단응력 관계곡선(11.0~12.0m)

각 심도별 시료의 침식특성과 물리적 특성(표 3)을 통하여 굴포천 환경교 주변 지반의 침식특성을 다음과 같이 분석하였다.

- (1) 굴포천 환경교 주변의 지반은 대부분 세립토로 구성되어 있으며, 통일분류법에 의해 CL로 분류되었다. 일반적인 세립토 지반의 침식특성과 동일한 양상을 보였으며, 비배수 전단강도가 증가함에 따라 한계전단응력이 비례하여 증가하였다.
- (2) 각 심도별 한계전단응력은 일반적인 국내 하상재료의 한계전단응력에 비해 상대적으로 크게 나타났으며, 교량 완공 후 표층을 구성하게 될 심도 6.0~7.0m의 한계전단응력과 한계유속은 각각 16.12N/m^2 와 2.86m/s 였다. 이는 교량이 없는 경우 한계유속 2.86m/s 이하의 유속에서는 세굴이 발생하지 않음을 시사한다.
- (3) 교량이 완공된 후에 교각 주위에 발생하는 최대전단응력은 교량이 없는 경우에 비해 크게 증가하게 되며, 재현기간 100년에 대하여 1) 조류를 고려한 최대홍수위 발생시 유속(1.52m/s)과 2) 발생 가능한 최대유속(2.59m/s)에 대해 교각 주위에서 발생할 수 있는 최대전단응력은 각각 11.12N/m^2 와 29.07N/m^2 였다.
- (4) 재현기간 100년에 해당하는 두 가지 유속으로 인해 교각주위에서 발생할 수 있는 최대전단응력에 대한 각 심도별 시료의 세굴률은 표 4와 같다. 표 4에 나타난 바와 최대홍수위 발생시에는 세굴률은 아주 작은 값을 보였으며, 심도 6.0~9.0m의 지반에서는 세굴이 거의 발생하지 않을 것으로 판단된다. 최대유속 발생시 세굴률은 평균 67.4mm/hr 였으며, 이는 일반적인 조립토의 세굴률이 수천 내지 수만 mm/hr 에 이르는 것을 고려해 볼 때 환경교 주변 지반의 침식저항능이 매우 큰 것으로 판단된다.

표 4. 최대홍수위 및 최대유속 발생시 각 심도별 지반의 세굴률

심 도(m)	세굴률 (mm/hr)	
	최대홍수위 발생시 (1.52 m/s)	최대유속 발생시 (2.59 m/s)
6.0 ~ 7.0	0	75.1
8.0 ~ 9.0	0	14.2
10.0 ~ 11.0	7.0	61.3
11.0 ~ 12.0	15.3	119.0

4. 송도지구

송도 해안도로는 총연장 756m, 폭 25m 규모로 인천광역시 연수구 동춘동에서 남동구 고잔동을 연결하는 해안도로로서 북측에는 인천시가지가 형성되어 있고 남동측으로 남동공단 및 시화공단 등이 상당부분 매립 조성되어 있으며 서측으로는 서해와 접하여 있다. 이 지역의 지질은 거시적으로 볼 때 선캠브리아기의 변성암류, 중심대 쥐라기의 화성암류, 백악기의 화산암류, 그리고 제4기의 충적층으로 구성되어 있다.

4.1 실험재료

송도 해안도로 현장에서 채취한 불교란 시료들에 대하여 기본물성치 실험을 실시한 결과 대부분 점토로 구성되어 있으며, 통일분류법에 의해 BH-50과 BH-56의 시료들은 ML로, BH-60과 BH-64는 CL로 분류되었다(표 5). 각 심도별 입도분포곡선을 그림 10에 도시하였다.

표 5. 시료의 기본물성치 및 한계전단응력 (송도 해안도로)

위치	심도 (m)	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	함수비 (%)	건조 단위중량 (t/m ³)	비배수 전단강도 (kN/m ²)	#200 통과량 (%)	한계 전단응력 (N/m ²)	통일 분류
BH-50	0.5~1.3	2.65	29.7	24.4	33.9	1.39	25.5	97.9	0.54	ML
BH-56	0.5~1.3	2.68	30.7	25.8	37.9	1.33	29.8	97.6	0.80	ML
BH-60	0.5~1.3	2.62	32.2	23.8	43.6	1.22	33.8	96.4	2.31	CL
BH-64	0.5~1.3	2.65	44.6	26.0	53.0	1.10	46.7	98.7	1.09	CL

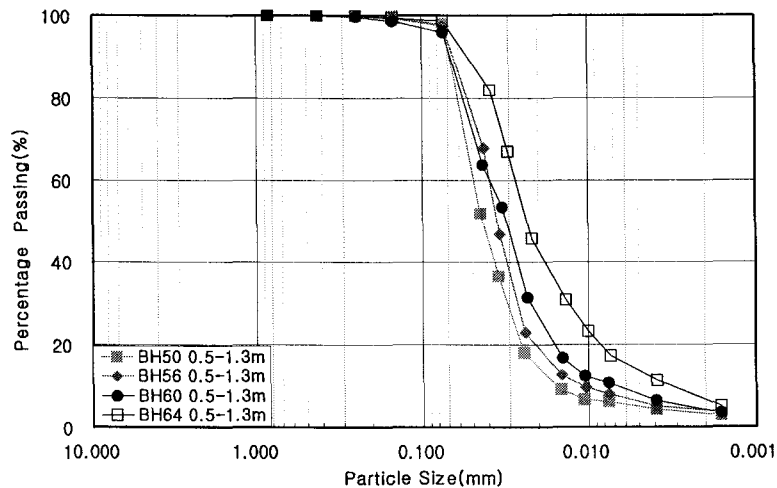


그림 10. 입도분포곡선 (송도 해안도로)

4.2 세굴률 실험결과

송도 해안도로 현장 주변 지반의 각 심도별 세굴률-전단응력 관계곡선을 그림 11 ~ 그림 14에 각각 도시하였다.

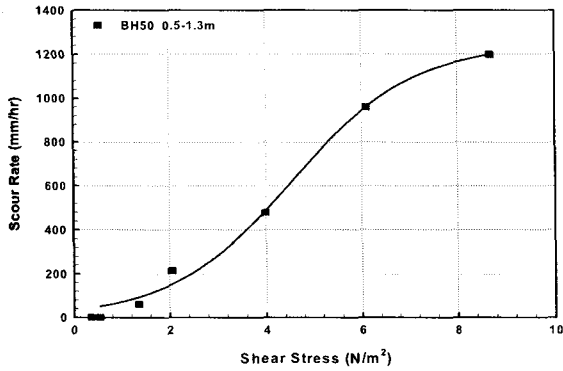


그림 11. 세굴률-전단응력 관계곡선(BH-50)

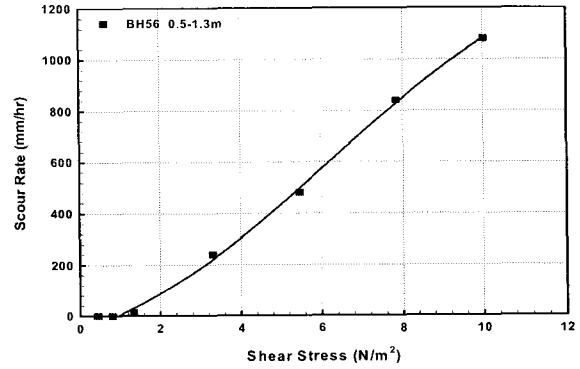


그림 12. 세굴률-전단응력 관계곡선(BH-56)

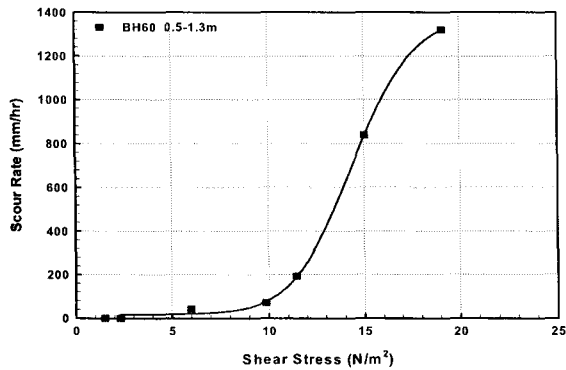


그림 13. 세굴률-전단응력 관계곡선(BH-60)

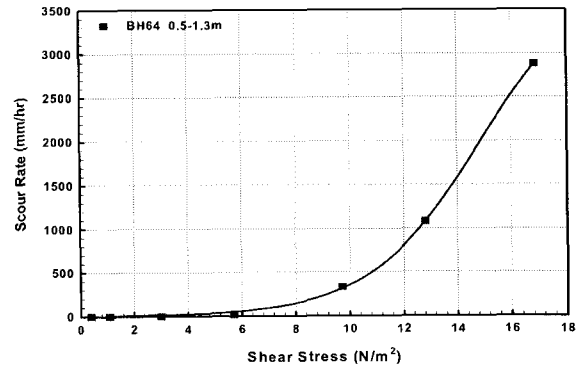


그림 14. 세굴률-전단응력 관계곡선(BH-64)

각 심도별 시료의 침식특성과 물리적 특성(표 5)을 통하여 대상현장 지반의 침식특성을 다음과 같이 분석하였다.

- (1) 송도 해안도로 현장의 주변 지반은 대부분 점토로 구성되어 있으며, 통일분류법에 의해 BH-50과 BH-56의 시료들은 ML로 분류되었으며, BH-60과 BH-64는 CL로 분류되었다.
- (2) 표 6은 각 시료들의 한계전단응력 및 그에 상응하는 한계유속을 보여주고 있다. 한계유속은 한계전단응력에 상응하는 유속으로 이 유속에서 시료의 침식이 발생하기 시작한다. 침식에 대한 저항력을 나타내는 한계전단응력은 CL로 분류된 BH-60과 BH-64에서 채취한 시료가 상대적으로 큰 경향을 보였으며, 그중 BH-60에서 채취한 시료가 가장 큰 값을 보였다. 이는 BH-60의 시료가 가장 큰 유속에서 침식이 발생하기 시작함을 의미하며, 동일한 유속 즉, 동일한 전단응력(ex. 8N/m²)에 대한 비교에서도 세 가지 시료 중 가장 작은 침식률을 보였다. BH-60과 BH-64에서 채취한 시료의 한계전단응력 값들은 국내 하상의 세립토 지반에서 일반적으로 나타나는 한계전단응력의 평균 정도에 해당하는 것으로 분석되었으나, BH-50과 BH-56에서 채취한 시료의 한계전단응력 값들은 평균 이하의 값을 가지는 것으로 나타나 상대적으로 낮은 유속에서 침식이 쉽게 발생할 것으로 판단된다.

표 6. 한계전단응력 및 한계유속 (송도 해안도로)

위 치	심도(m)	한계전단응력(N/m ²)	한계유속(m/s)
BH-50	0.5~1.3	0.54	0.42
BH-56	0.5~1.3	0.80	0.53
BH-60	0.5~1.3	2.31	0.96
BH-64	0.5~1.3	1.09	0.63

- (3) 표 7은 대상현장의 최대설계유속(0.5m/s)에 상응하는 세굴률을 나타낸다. BH-50에서 채취한 시료를 제외한 나머지 세 가지 시료들의 침식률이 모두 0으로 나타났으며, 이는 최대설계유속에 대해 세굴이 발생하지 않음을 의미한다. BH-50의 경우도 일반적인 조립토에 비해 침식률이 매우 작게 나타나 설계유속 0.5m/s에 대하여 세굴심이 크게 발생하지 않은 것으로 판단된다.

표 7. 설계유속(0.5m/s)에 대한 각 심도별 지반의 침식률

위 치	심도(m)	침식률(mm/hr)
BH-50	0.5~1.3	40
BH-56	0.5~1.3	0
BH-60	0.5~1.3	0
BH-64	0.5~1.3	0

5. 결론

- (1) 인천대교 현장의 주변 지반은 대부분 세립토로 구성되어 있으며, 통일분류법에 의해 CL, SM, ML 등으로 분류되었다. 세굴률 실험결과 인천대교 사장교 구간을 중심으로 동측구간 지반이 서측구간 지반에 비해 더 큰 한계전단응력과 더 낮은 세굴률을 보여 동측구간 지반의 세굴저항력이 서측구간 지반에 비해 뛰어난 것으로 나타났으며, 설계유속에 대하여 교각이 없는 경우와 교각이 건설되어 해상에 존재하는 경우 평균 침식률은 각각 173mm/hr와 471mm/hr이다.
- (2) 굴포천 하류 환경교 주변 지반은 대부분 세립토로 구성되어 있으며, 통일분류법에 의해 CL로 분류되었다. 세굴률 실험결과 각 심도별 한계전단응력은 일반적인 국내 하상재료의 한계전단응력에 비해 상대적으로 크게 나타났으며, 교량이 없는 경우에는 한계유속 2.86m/s이하의 유속에서는 세굴이 발생하지 않을 것으로 판단된다. 재현기간 100년 빈도의 최대유속에 대해 교각주위에 발생할 수 있는 세굴률을 분석한 결과 평균 67.4mm/hr였으며, 이는 일반적인 조립토의 세굴률이 수천 내지 수만 mm/hr에 이르는 것을 고려해 볼 때 환경교 주변 지반의 침식저항능이 매우 큰 것으로 판단된다.
- (3) 송도 해안도로 현장의 주변 지반은 위치에 따라 다소 상이한 흙의 종류를 보였으며, BH-50과 BH-56의 시료들은 ML로, BH-60과 BH-64는 CL로 분류되었다. 세굴률 실험결과에서도 BH-60과 BH-64에서 채취한 시료의 한계전단응력 값들은 국내 하상의 세립토 지반에서 일반적으로 나타나는 한계전단응력의 평균 정도에 해당하는 것으로 분석되었으나, BH-50과 BH-56에서 채취한 시료의 한계전단응력 값들은 평균 이하의 값을 가지는 것으로 나타나 상대적으로 낮은 유속에서 침식이 쉽게 발생할 것으로 판단된다. 설계유속(0.5m/s)에 대한 지반의 침식률을 분석한 결과 대부분의 시료들이 세굴심이 거의 발생하지 않는 것으로 나타나 설계유속에 대하여 침식저항력이 매우 큰 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 광기석, Briaud, J-L. (2001), “축적 효과를 고려한 교각세굴 해석 프로그램 개발”, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol.17, No.3, pp.5-13.
2. 광기석, 이주형, 박재현, 정문경, 배규진 (2004), “세립토의 침식능에 대한 토질정수의 영향”, 한국지반공학회 논문집, 제20권, 8호, pp.89-96.
3. 여운광, 김정환, 이양구, 김태인, 김종인, 광기석, 이종국, 광문수, 김문모 (2005), “인천 제2연육교 세굴문제 해결을 위한 학제간 공동연구 방안”, 2005 한국지반공학회 학술발표회, 제주 국제컨벤션센터, pp.71-80.