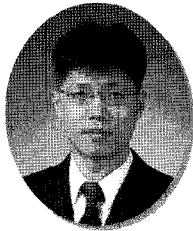


# GIS를 이용한 액상화 판정 (새만금 동진5공구 사례)



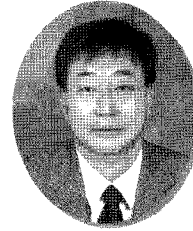
송 병 응  
(주)다산컨설팅  
지반공학부 이사



김 건 호  
(주)다산컨설팅  
지반공학부 상무



유 진 호  
한라건설(주)  
토목영업부 부장



김 흥 택  
홍익대학교  
토목공학과 교수

## 1. 연구 배경 및 목적

삼각주와 같은 지역에서 느슨하며 포화된 사질토 지반이 지진과 같은 큰 진동하중을 받게 되면 순간적으로 비배수 상태가 됨에 따라 유효응력의 저하가 나타나며 이에 따라 과잉간극수압이 크게 증가하게 된다. 이에 따라 지반의 전단저항력이 저하되어 전단저항력을 거의 모두 잃는 단계까지 도달하게 되면 지반이 액체처럼 거동하는 현상이 나타난다. 이를 전문용어로 액상화 현상이라 부른다.

그림 1과 같이 느슨한 포화 사질토 지반에서 발생한 과잉간극수압은 흙입자의 공극을 따라 빠져나가려 하는데 흙입자의 좌측 및 우측은 물로 포화되어 있고, 하부는 불투수층이므로 결국 이동하기 가장 쉬운 지표면으로 이동하게 된다. 그림 2는 지상에서 분출되는 과잉간극수압의 모습을 촬영한 사진이다(安田, 1995). 그림 2와 같이 액상화가 발생하고 나면 그 정도에 따라 직접적인 지반의 파

괴를 가져올 뿐만 아니라 지반 침하, 수평변위 및 측방유동을 야기하며 구조물의 안정에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 지진 발생이 빈번하고 액상화 피해사례가 많은 미국과 일본에서는 모든 구조물의 내진 설계 시 매우 중요한 항목으로 검토하고 있다.

그림 3과 4는 모래지반이 아닌 화강풍화토(일본명 마사토)와 비소성실트지반에서의 액상화 피해현장 사진이다. 일본에서와 같이 지진의 규모가 큰 경우 액상화는 느슨한 모래지반 뿐만 아니라 그 이외의 지반에서도 발생하는 것을 알 수 있다(Song, 2003)

일반적으로 지반의 액상화 평가는 Seed & Idriss(1971)가 제안한 간편법을 이용하여 지반 액상화 발생 가능성을 우선 평가하고, 불안정한 지반에 대해서는 진동삼축시험을 수행하는 상세예측을 수행함으로써 그 가능여부를 평가하고 있다. 그러나 이는 유효응력을 이용하는 예측방법으로 지반과 지진 그리고 지진에 의한 동수압의 상호작용을 고려할 수 없다는 단점도 있다. 하지만, 사용방법이 때

## 기술기사 2

우 용이하므로 널리 사용되고 있다. 댐 및 방조제와 같이 중요 구조물에서는 지진-지반응력-간극수압을 복합적으로 고려하여 상세하게 액상화를 평가하고 있다.

본 연구 대상구간은 새만금방수제 동진5공구 건설공사 구간으로 하였다. 이 구간은 향후 고층건물 등과 같은 주요 구조물들이 개발될 것으로 계획되어 있어, 본 과업구간의 지진 시 발생할 수 있는 지반액상화 발생여부를 광역구간 전체에 대하여 수치해석 기법인 GIS를 이용하여 시각화 하였다.

본 연구를 위하여 과업구간 전체를 대상으로 한 SPT결과와 입도분포곡선 등 지반조사 자료를 이용하여 PL치(Potential of Liquefaction)를 분석하였으며, 대규모 지역에서의 PL치 분포를 추정하기 위하여 GIS 프로그램을 이용하여 본 과업구간 전체의 액상화 현상에 대한 안정성 여부를 확인하였다.

## 2. 연구대상구간 특징 및 연구수행 방법

### 2.1 연구대상구간 특징

그림 5는 본 연구대상으로 선정한 구간으로 본 구간은 전북 부안군 동진면, 감제시 광활면, 성덕면 등 일원의 공유수면 내에 위치하고 있으며, 동진 1호 방수제와 동진 3

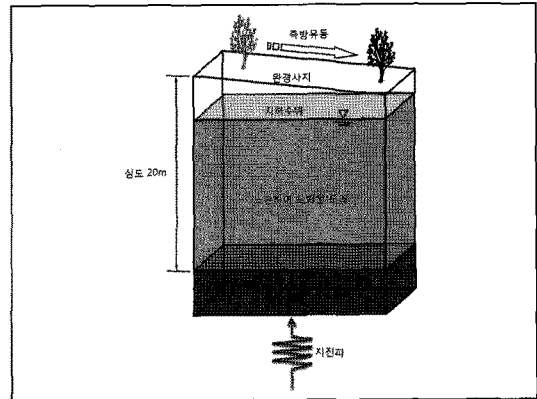


그림 1. 액상화 발생 지반 조건

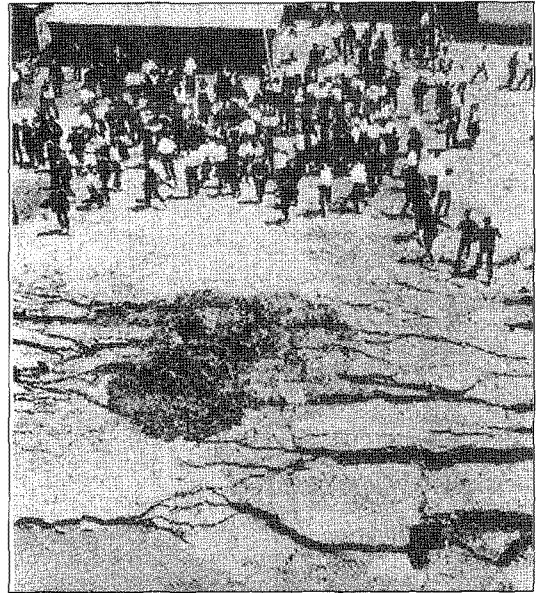


그림 2. 1964년 액상화 발생 사진(安田, 1995)

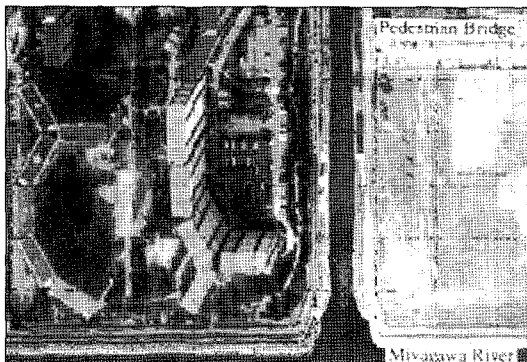


그림 3. 화강풍화토지반에서의 액상화 피해(Song, 2003)

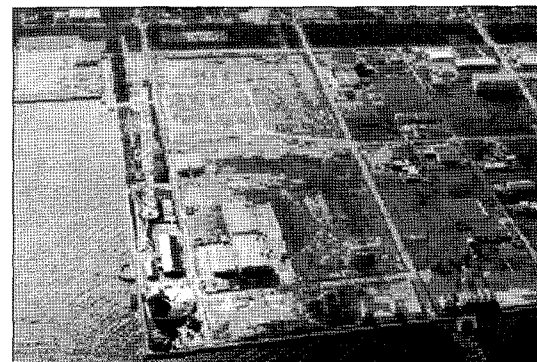


그림 4. 비소성실트지반에서의 액상화 피해(Song, 2003)

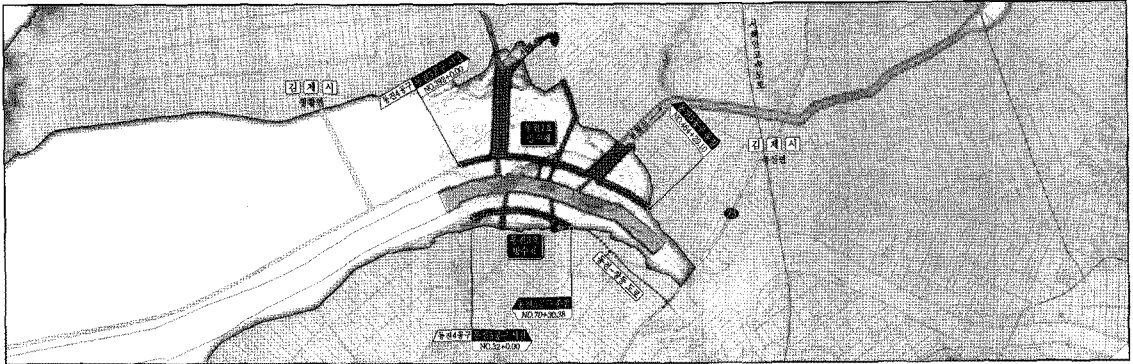


그림 5. 과업구간 위치도

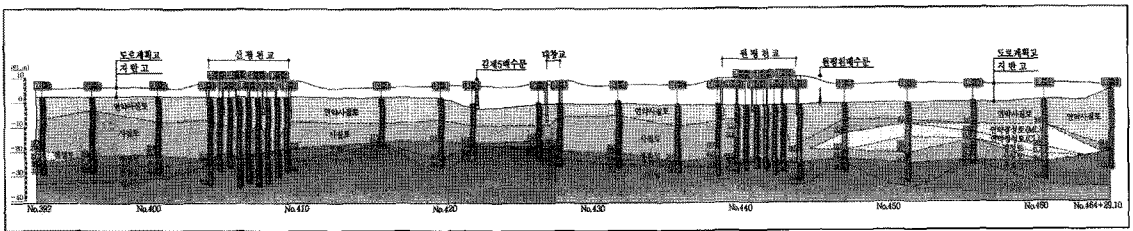


그림 6. 동진1호 방수제구간 지층단면도

호 방수제에 해당된다. 동진5공구 동진1호 방수제 및 동진3호방수제 시점부는 동진4공구와 연결되며, 종점부는 동진대교 부근에 연결된다. 방수제 진행방향의 좌·우측은 농업용지로 개발될 예정이다.

연구대상구간 주변 산지 및 구릉지의 침식 퇴적물이 평야지역을 지나 서해안으로 유입되며 넓은 조간대 지역을 형성하고 있다. 연구대상구간의 서쪽으로 새만금 방조제가 1991년 11월 착공하여 2006년 4월 방조제 끝막이 공사가 완료되어 있으며 현재 담수호를 형성하고 있다. 그림 6에 의하면 연구대상구간 전구간에 걸쳐서 포화된 연약 사질토가 비교적 두텁게 분포되어 있는 것으로 조사되었다.

## 2.2 연구수행 방법

그림 7은 본 연구수행 방법의 흐름도를 나타내고 있다. 우선 현장에서 수행한 SPT 결과 및 입도분포곡선, 단위중량,  $D_{50}$ ,  $D_{10}$ , 소성지수, 단위체적중량 등의 실내시험결과

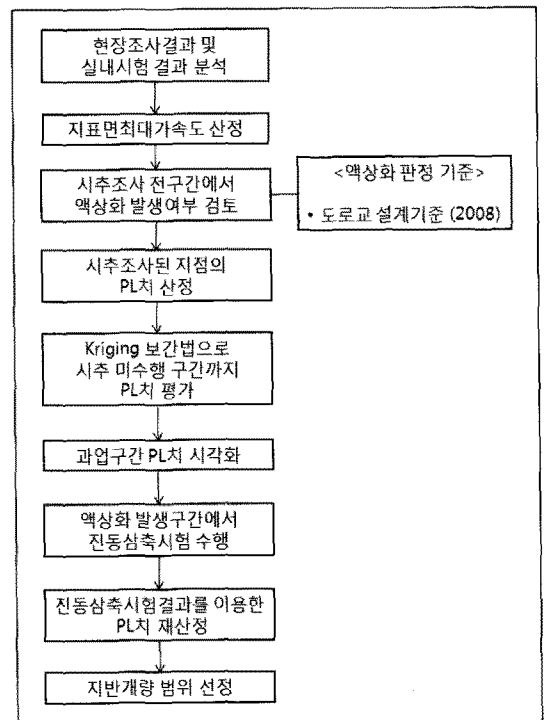


그림 7. 연구수행 방법의 흐름도

# 기술기사 2

표 1. 액상화 판정방법 (대한토목학회, 2008)

기준명	도표고 설계기준 해설																																																					
대상지반	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하수위 하부지반</li> <li>• 표준관입저항치(N)가 20미만인 지반</li> <li>• 대상지반심도가 20m이내</li> <li>• 소성지수가 10미만이고 점토성분이 20%미만인 지반</li> <li>• 세립토함유량이 35% 미만인 지반</li> <li>• 상대밀도가 80% 이하인 지반</li> </ul>																																																					
액상화 판정방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>FS_L = (\tau_f / \sigma_v) / (\tau_d / \sigma_v)</math></li> <li>• <math>FS_L</math>이 1.5이상이면 액상화 가능성 없음(내진 2등급에만 적용)</li> <li>• <math>FS_L</math>이 1.5미만일 경우에만 실내시험을 이용한 상세평가 수행</li> <li>• 상세평가 수행시 안전율은 1.0.</li> <li>• 내진 1등급은 상세평가 수행 필수</li> </ul>																																																					
액상화 강도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표준관입시험 결과(N치) 이용.</li> <li>• Youd and Idriss(2001)에 따라 세립분 보정(표 2 참조)</li> <li>• 한국에서는 M=6.5의 경우에 대한 액상화 강도를 사용하므로 M=7.5의 액상화강도를 MSF로 보정하여 사용.</li> <li>• <math display="block">\left(\frac{\tau_f}{\sigma_v}\right)_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{10(N_1)_{60} + 45^2} - \frac{1}{200}</math></li> <li>• <math>MSF = (M_w / 7.5)^n</math> 여기서, <math>M_w</math>는 6.5, n은 1.19(Seed and Idriss(1971))</li> <li>• <math display="block">\left(\frac{\tau_f}{\rho_v}\right)_{6.5} = MSF \cdot \left(\frac{\tau_f}{\rho_v}\right)_{7.5}</math></li> <li>• CPT 시험결과 이용</li> <li>• <math>q_d = C_q \cdot q_c</math> 여기서, <math>q_c</math>는 유효상재압 보정계수</li> <li>• 전단파속도 이용도 가능(Andrus and Stokoe II, 2000)</li> <li>• 상세평가방법 : 진동삼축시험 결과 이용</li> <li>• <math>CRR = C_1 \cdot C_2 \cdot (CRR)_{TX}</math> 여기서, <math>C_1</math>은 0.9, <math>C_2 = (1 + 2K_0)/3</math>, <math>(CRR)_{TX}</math>는 진동삼축시험에서의 전단저항응력비</li> <li>• 지진규모에 대한 보정을 위한 보정계수 MSF</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Mw</th> <th colspan="5">규모에 대한 보정계수 MSF</th> </tr> <tr> <th>Seed and Idriss(1982)</th> <th>Idriss (1996)</th> <th>Ambraseys (1988)</th> <th>Youd and Nibel P(32%)</th> <th>Arango (1996)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5.6</td><td>1.43</td><td>2.20</td><td>2.86</td><td>3.42</td><td>3.00</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>1.32</td><td>1.76</td><td>2.20</td><td>2.35</td><td>2.00</td></tr> <tr><td>6.5</td><td>1.19</td><td>1.44</td><td>1.69</td><td>1.66</td><td>1.60</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>1.08</td><td>1.19</td><td>1.30</td><td>1.20</td><td>1.25</td></tr> <tr><td>7.5</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>1.00</td><td>-</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>8.0</td><td>0.94</td><td>0.84</td><td>0.67</td><td>-</td><td>0.75</td></tr> <tr><td>9.6</td><td>0.89</td><td>0.72</td><td>0.44</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Mw	규모에 대한 보정계수 MSF					Seed and Idriss(1982)	Idriss (1996)	Ambraseys (1988)	Youd and Nibel P(32%)	Arango (1996)	5.6	1.43	2.20	2.86	3.42	3.00	6.0	1.32	1.76	2.20	2.35	2.00	6.5	1.19	1.44	1.69	1.66	1.60	7.0	1.08	1.19	1.30	1.20	1.25	7.5	1.00	1.00	1.00	-	1.00	8.0	0.94	0.84	0.67	-	0.75	9.6	0.89	0.72	0.44	-	-
Mw	규모에 대한 보정계수 MSF																																																					
	Seed and Idriss(1982)	Idriss (1996)	Ambraseys (1988)	Youd and Nibel P(32%)	Arango (1996)																																																	
5.6	1.43	2.20	2.86	3.42	3.00																																																	
6.0	1.32	1.76	2.20	2.35	2.00																																																	
6.5	1.19	1.44	1.69	1.66	1.60																																																	
7.0	1.08	1.19	1.30	1.20	1.25																																																	
7.5	1.00	1.00	1.00	-	1.00																																																	
8.0	0.94	0.84	0.67	-	0.75																																																	
9.6	0.89	0.72	0.44	-	-																																																	
지진 외력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\tau_d / \sigma'_v = 0.65 (a_{depth} / g) (\sigma_v / \sigma'_v)</math> 여기서, <math>a_{depth}</math> : 액상화 평가심도에서 최대지반가속도 <math>\sigma_v</math> : 액상화 평가 심도에서의 전응력 <math>\sigma'_v</math> : 액상화 평가 심도에서의 유효응력</li> </ul>																																																					

표 2. 세립분 FC 보정방법

세립분 보정방법(도로교설계기준, 2008)	세립분 보정방법(Youd and Idriss, 2000)
	$(N_1)_{60,cs} = a + \beta(N_1)_{60}$ <p>FC ≤ 5%이면            a = 0</p> <p>5% &lt; FC &lt; 35%이면   a = <math>\exp[1.76 - (190/FC^2)]</math></p> <p>35% ≤ FC이면            a = 5.0</p> <p>FC ≤ 5%이면            β = 1.0</p> <p>5% &lt; FC &lt; 35%이면   β = <math>[0.99 + (FC^{1.5}/1,000)]</math></p> <p>35% ≤ FC이면            β = 1.2</p>

를 정리한다. 그리고, Shake 프로그램을 통하여 지표면최대가속도를 결정한 후 연구대상 전구간에서의 액상화 발생여부를 검토하는 것으로 하였다. 액상화 판정 방법은 우리나라의 도로교 설계기준해설(2008)로 판정하였다.

시추조사 지점에서의 PL치를 정리하여 GIS를 이용하여 시추조사가 수행되지 못한 지점에서의 PL치까지 평가하여 과업구간 전체에서의 액상화 발생 여부를 시각화하였다. 액상화 예상구간에서 진동삼축시험 수행을 통한 상세조사를 수행하여 지반개량 범위를 산정하였다.

### 3. 액상화 판정법 및 PL치 산정 방법

도로교설계기준 해설(2008)에 의하면 액상화 판정 대상층은 표 1과 같으며 설계지진규모는 지진구역 I, II 모두 리히터규모 6.5를 사용한다. 액상화 평가시 설계지진가속도는 도로교설계기준 해설(2008)의 6.3절에 나타나 있는 설계일반사항의 내용에 준하여 결정한다. 한편 표 1에서 세립분 보정은 표 2와 같이 수행한다.

대상지반의 주상도와 입도분포자료로부터 액상화 평가

가 필요한 지역으로 판단되면 대상지반에 대해 지반응답 해석을 수행한다. 이때 지반응답해석은 리히터규모 6.5와 유사한 장주기 및 단주기 특성을 포함한 3개 이상의 가속도 시간이력에 대하여수행하여야 한다(도로교설계기준해설, 2008). 도로교설계기준 해설(2008)에 의하면 액상화 판정 방법은 1) SPT의 N치를 이용한 방법, 2) CPT 결과를 이용하는 방법, 3) 전단파속도를 이용하는 방법, 4) 실내반복시험을 이용한 액상화 상세예측법 등이 있다. 일반적으로 우리나라에서는 1) SPT의 N치를 이용하여 간이예측을 수행하고, 액상화 발생가능성이 나타난 구간에 대해서 4) 실내반복시험을 이용한 상세예측을 수행한다(도로교설계기준 해설, 2008).

한편, 본 연구에서는 심도별 액상화 판정 후 나타나는 PL치를 岩崎 등(1980)이 제안한 방법에 따라 액상화 발생가능성을 PL치(Potential of liquefaction)로 나타내어 조사 지점별 액상화 발생 가능성을 지수화 하였다. 이에 따라 본 연구에서는 도로교설계기준 해설(2008)을 이용하여 계산된 액상화 발생 가능성을 식(1)과 같이 岩崎 등(1980)이 제안한 PL치로 지수화 하였다. 그리고, 岩崎 등(1980)은 지반액상화지수 PL치의 의미를 표 3과 같이 평

## 기술기사 2

표 3. 지반액상화지수 PL치 평가 방법

PL치	평가
PL = 0	액상화 위험도 거의 없음.
0 < PL ≤ 5	액상화 위험도 낮음. 중요 구조물 설계시 상세조사 필요
5 < PL ≤ 15	액상화 위험도 높음. 중요 구조물에는 상세조사 필요. 액상화대책 필요
15 < PL	액상화 위험도 매우 높음. 액상화 상세조사 및 대책 불가피

가하였다.

$$PL = \int_0^{20} FL \cdot w(z) dz \quad (1)$$

표 3에서 평가하여 보면 “최대 “액상화 위험도 높음. 중요 구조물에는 상세조사 필요. 액상화대책 필요”로 나타나는 것을 알 수 있다.

### 4. GIS를 이용한 액상화 판정 결과

액상화 판정을 수행하기 전에 본 과업구간의 기반암에서 발생될 최대지진가속도를 선정해야 하며, 이를 위해서 지진구역계수와 위험도계수를 이용하는 방법과 지진재해도를 이용하는 방법이 있다. 지진구역계수와 위험도계수를 이용하여 검토한 결과에 의하면 본 과업구간은 전라북도 지진구역이 I이며, 본 과업의 주요 공종은 방수제 시공으로 향후 배면이 매립되어 운용될 예정이므로 500년 재현주기를 고려하면 위험도 계수가 1.0이 되어 설계지진 가속도는 0.11g로 예상하였다. 한편, 지진재해도를 이용하여 검토한 결과 0.08g로 나타났다. 본 연구에서는 두 가지 결과 중 큰 값인 0.11g를 선정하여 보다 안전한 설계가 되도록 고려하였다. 분석결과 지표면최대가속도가 0.158g 발생하는 것을 알았다. 이에 따라 액상화 검토시 입력되는 지표면최대가속도는 155gal (=0.158g)로 선정하였다.

표 4는 본 연구에서 간이검토된 PL치 전체를 종합 정리하여 나타내었다. 간이 검토결과 최대 PL치는 최대 11.8까지 분포하는 것을 알 수 있다. 표 4의 간이검토결과를

### 4.1 GIS에 의한 액상화 지수 시각화

#### 4.1.1 도로교설계기준에 의한 액상화 판정

그림 8은 도로교설계기준에 의한 PL치 분포도를 나타내고 있다. 시점구간(BH-13~BH-17)에서 PL치가 최대 11 정도 나타나 상세조사 검토가 반드시 필요할 것으로 사료된다. 신평천교 및 원평천교 부근에서도 PL치가 다소 크게 나타나는 것을 알았다.

그림 8에서 방수제가 계획된 시점구간(BH-13 ~ BR7-1)에서 PL치가 2.9~11까지 나타나 액상화 발생 가능성이 있는 것을 알 수 있다. 그러나 운산교가 위치할 부근(BR-8~BH-15)에서는 액상화 발생 가능성이 없는 것으로 나타났다. 동전교부근 및 동전~장등도로 구간에서는 대체적으로 액상화 발생 가능성은 없지만, PL치가 2.2(BR-9) 및 0.3(BL-2)가 나타나 이 부근에서의 상세조사가 필요하다. 신평천 승수로 구간은 대체적으로 PL치가 0~0.2로 나타나 액상화 발생 가능성은 거의 없을 것으로 사료되지만, BS-13에서 PL치가 6.3으로 나타나 상세조사가 필요하다. 신평천교 구간에서는 BR-1-5~BR-1-7에서만 PL치가 0.3~7.7로 나타나 교량의 안정성 확보를 위하여 반드시 상세조사를 수행해야 할 것으로 사료된다. 대창 승수로 및 대창교 구간(BR-4~BS-17)에서는 PL치가

표 4. 시추공별 간이검토 결과

구분	공번	좌표		PL치 비교	구분	공번	좌표		PL치 비교		
		X	Y	도로고 설계기준액설(2008)			X	Y	도로고 설계기준액설(2008)		
방수재 구간	동진1호	BH-1	255,000.68	177,843.29	0.0	교량 구간	신병천교	BR-1	254,727.82	178,405.82	0.0
		BH-2	254,913.43	178,054.02	0.0			BR-1-1	254,707.86	178,430.57	0.0
		BH-3	254,908.39	178,250.10	0.0			BR-1-2	254,688.83	178,456.91	0.0
		BH-4	254,355.86	178,847.45	0.0			BR-1-3	254,669.79	178,483.25	0.0
		BH-5	254,209.50	178,983.68	0.0			BR-1-4	254,650.76	178,509.60	0.0
		BH-6	253,723.73	179,335.28	0.0			BR-1-5	254,631.72	178,535.94	0.3
		BH-7	253,551.31	179,436.31	0.0			BR-1-6	254,612.69	178,562.28	7.1
		BH-8	253,045.48	179,686.36	0.0			BR-1-7	254,593.65	178,588.62	7.7
		BH-9	252,854.93	179,780.44	0.0			BR-2	254,574.62	178,614.96	0.0
		BH-10	252,651.99	179,869.13	0.0			BR-3	253,914.05	179,202.36	0.0
		BH-11	252,423.11	179,942.24	0.0	BR-4	253,888.02	179,220.55	0.4		
		BH-12	252,208.41	180,011.35	0.0	BR-5	253,402.79	178,527.87	0.0		
	BH-13	254,163.55	177,484.92	11.0	BR-5-1	253,379.98	179,539.66	3.3			
	BH-14	254,086.94	177,687.90	8.0	BR-5-2	253,349.58	179,551.07	0.0			
	BH-15	253,836.81	178,087.86	0.0	BR-5-3	253,321.20	179,573.02	0.0			
	BH-16	253,702.50	178,235.98	0.1	BR-5-4	253,292.08	179,593.43	0.5			
	BH-17	253,553.45	178,369.26	0.0	BR-5-5	253,265.35	179,596.15	0.0			
	BH-18	253,391.30	178,486.24	0.0	BR-5-6	253,241.45	179,613.51	0.0			
	BH-19	252,931.13	178,701.36	0.0	BR-6	253,216.24	179,624.31	9.7			
신병천	BS-1	255,025.15	178,673.21	0.0	BR-7	253,974.91	177,674.45	3.7			
	BS-2	255,314.25	178,948.01	0.0	BR-7-1	253,959.53	177,894.50	2.9			
	BS-3	255,604.16	179,223.16	0.0	BR-8	253,944.51	177,915.72	0.0			
	BS-4	255,881.56	179,489.44	0.0	BR-9	253,247.84	178,559.71	2.2			
	BS-5	256,191.42	179,737.85	0.0	BR-9-1	253,220.12	178,575.92	0.0			
	BS-6	256,562.69	179,886.80	0.0	BR-10	253,203.57	178,582.95	0.0			
	BS-7	256,958.99	179,944.16	0.0	배수문 구간	김재5배수문	BB-1	254,180.53	179,129.24	0.0	
BS-8	254,695.52	178,735.40	0.0	BB-2		254,143.28	179,072.36	0.0			
승수로 구간	BS-9	254,984.24	179,009.31	0.0	BB-3	254,108.00	179,025.29	0.0			
	BS-10	255,276.22	179,286.31	0.2	서포2배수문	BB-4	251,915.23	179,969.60	0.5		
	BS-11	255,578.77	179,580.24	0.0	부지조성 구간	BC-1	256,331.48	178,541.67	0.0		
	BS-12	255,680.27	179,922.91	0.0		BC-2	255,872.48	179,317.73	0.0		
	BS-13	255,832.64	179,924.46	6.3		BC-3	255,957.08	179,756.29	0.0		
	BS-14	254,080.30	179,568.49	1.5		BC-4	255,547.34	179,769.01	1.1		
	BS-15	254,256.83	179,927.42	0.4		BC-5	254,814.65	180,113.87	0.0		
	대청	BS-16	254,566.60	180,148.56	0.0	동진~장동 도로	BL-1	252,835.87	178,724.92	0.0	
		BS-17	254,943.24	180,279.23	0.6		BL-2	252,703.39	178,867.95	0.3	
		BS-18	253,440.37	179,928.32	0.1		BL-3	252,461.20	178,968.07	0.0	
		BS-19	253,458.30	180,325.49	0.0		BL-4	252,326.92	178,983.91	0.0	
BS-20		253,217.84	179,886.57	0.0	BL-5		252,113.30	178,996.70	0.0		
BS-21		253,233.06	180,225.68	0.7	BL-6		251,927.95	179,012.53	0.0		
BS-22		253,244.88	180,508.14	0.0	BL-7		251,883.12	179,027.94	0.0		
운산	BS-23	253,755.20	177,738.26	0.0	BL-8		251,593.46	179,053.15	0.0		
	BS-24	253,079.54	178,468.00	0.0	BL-9		251,565.17	179,099.36	0.0		
동진					BL-9-1		251,067.33	179,172.70	0.0		
					BL-10	250,784.04	179,202.11	0.0			

최대값	11.0
최소값	0.0

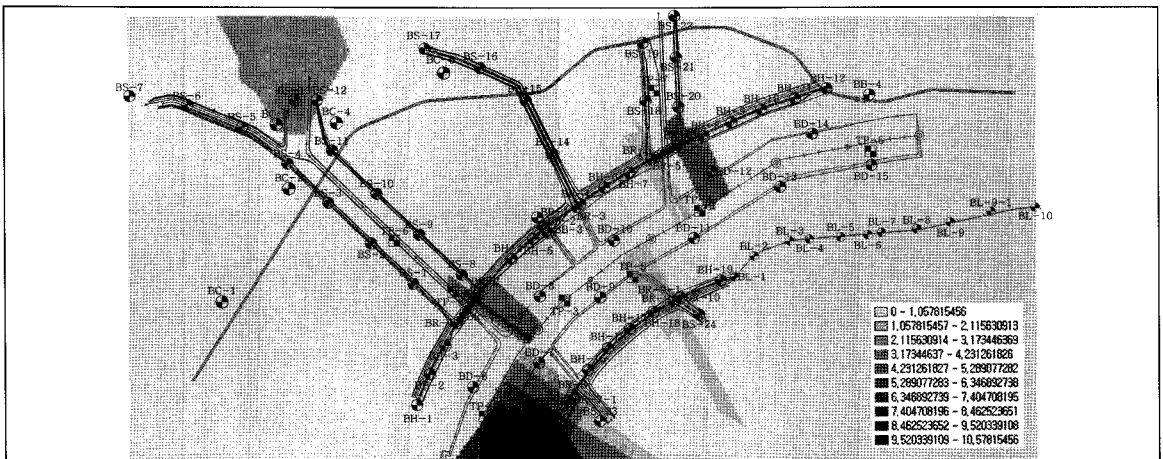


그림 8 도로고설계기준에 의한 PL치 분포도

# 기술기사 2

표 5. 진동삼축시험 결과

공번	심도(m)	유효구속압 $\sigma'_v$ (kPa)	CSR
BR-2	8.0	65	0.32
BR-7	12.0	110	0.36

0~1.5까지 분포하고 있어 낮은 액상화 발생가능성을 내포하고 있는 것으로 나타났다. 원평천 승수로 및 원평천 교에서는 PL치가 각각 0~0.7, 0~9.7로 나타나 이 구간에서도 상세조사가 필요할 것으로 사료된다. 한편 서포2 배수문 구간(BB-4)에서도 낮은 액상화 가능성이 나타나 상세조사가 필요하다.

## 5. 액상화 위험도 판정

### 5.1 진동삼축시험결과를 이용한 상세검토

지금까지 GIS 프로그램을 이용하여 새만금방수제 동진5공구 사업구간에서의 액상화 발생 가능성에 대하여 도로교설계기준(2008)에 따라 과업구간에서 액상화 판정을 수행하였다. 간이검토된 액상화 위험구간에서 진동삼축시험을 수행하여 상세조사를 수행하였다. 상세조사된 결과를 바탕으로 PL치를 재산정하여 GIS 프로그램에서 다시 시각화하여 액상화 대책이 필요한 구간을 재선정하였다.

#### 5.1.1 진동삼축시험 결과

동진1호 방수제와 동진3호 방수제를 대표해서 각각 BR-2(8m 지점)과 BR-7(12m 지점)에서의 액상화강도를 진동삼축시험을 통하여 조사하였다. 시험결과 액상화강도는 과업구간 전체지반에서 대체적으로 0.32~0.36의 범위 정도 발휘되는 것을 확인하였다(표 5).

#### 5.1.2 액상화 발생 상세가능성 검토결과

그림 8에서 평가된 액상화 발생 구간에 대하여 진동삼축시험결과를 이용하여 상세검토를 수행하여 구한 결과는 표 6 및 그림 9와 같이 나타났다. 표 5에 의하면 최대 PL치는 7.3으로 나타나 표 3을 이용하여 판단하여보면 “최대 “액상화 위험도 높음. 중요 구조물에는 상세조사 필요. 액상화대책 필요”로 나타났지만 표 4보다 수치가 낮아진 것을 알 수 있다.

그림 9에 의하면 운산교량이 위치하는 시점구간(BH-13~BH-17)에서는 액상화 발생가능성이 없는 것으로 나타났으며, 동전교 부근 및 동정~장등도로에서도 액상화 발생 가능성은 없는 것으로 조사되었다. 신평천 승수로 구간 중 BS-13에서만 PL치가 2로 나타나 낮은 액상화 가능성이 존재하며, 신평천교 구간에서는 BR-1-5 및 BR-1-7에서 각각 0.8 및 2.2의 PL치가 나타나 액상화에 대한 교량의 안정성 확보대책이 필요할 것으로 사료된다. 대창교 구간에서도 PL치가 0.3으로 나타나 낮은 액상화 가능성이 존재하며, 원평천교에서도 PL치가 7.3으로 나타나 액상화 대책이 필요할 것으로 사료된다. 그 밖의 구간에서는 상세조사결과 액상화 가능성이 없는 것으로 나타났다.

종합적으로 판단하여보면 상세조사결과 대체적으로 과업구간에서의 액상화 발생 가능성은 없지만 일부구간에서 액상화 발생 가능성이 있는 것으로 나타났으며 액상화 발생여부에 대한 상세검토결과 및 대책을 정리하면 표 7과 같다. 액상화의 판정은 유효응력과 과잉간극수압과의



표 6. 시추공별 상세검토 결과

구분	공번	좌표		PL치 비교		구분	공번	좌표		PL치 비교	
		X	Y	도로 설계기준해설(2008)				X	Y	도로 설계기준해설(2008)	
방수재 구간	동진1호	BH-1	255,000.68	177,843.29		교량 구간	신평천교	BR-1	254,727.82	178,405.82	
		BH-2	254,913.43	178,054.02				BR-1-1	254,707.86	178,430.57	
		BH-3	254,808.38	178,250.10				BR-1-2	254,688.83	178,456.91	
		BH-4	254,355.86	178,847.45				BR-1-3	254,669.79	178,483.25	
		BH-5	254,209.50	178,983.68				BR-1-4	254,650.76	178,509.60	
		BH-6	253,723.73	179,335.28				BR-1-5	254,631.72	178,535.94	0.4
		BH-7	253,551.31	179,436.31				BR-1-6	254,612.69	178,562.28	0.8
		BH-8	253,045.48	179,686.36				BR-1-7	254,593.65	178,588.62	2.2
		BH-9	252,854.93	179,780.44				BR-2	254,574.62	178,614.96	
		BH-10	252,651.99	179,859.13				BR-3	253,914.05	179,202.36	
		BH-11	252,423.11	179,942.24			대창교	BR-4	253,888.02	179,220.55	0.3
		BH-12	252,208.41	180,011.35				BR-5	253,402.79	179,527.87	
	동진3호	BH-13	254,183.55	177,484.92	0.0		월평천교	BR-5-1	253,379.98	179,539.66	0.8
		BH-14	254,086.94	177,687.90	0.0			BR-5-2	253,349.58	179,551.07	
		BH-15	253,836.81	178,087.85	0.0			BR-5-3	253,321.20	179,573.02	
		BH-16	253,702.50	178,235.98	0.0			BR-5-4	253,292.08	179,583.43	0.7
		BH-17	253,553.45	178,369.26				BR-5-5	253,265.35	179,596.15	
		BH-18	253,391.30	178,496.24				BR-5-6	253,241.45	179,613.51	
		BH-19	252,911.13	178,701.36			BR-6	253,216.24	179,624.31	7.3	
습수로 구간	신평천	BS-1	255,025.15	178,673.21		운산교	BR-7	253,974.91	177,874.45	0.0	
		BS-2	255,314.25	178,948.01			BR-7-1	253,959.53	177,894.50	0.0	
		BS-3	255,604.16	179,223.16		동진교	BR-8	253,944.51	177,915.72	0.0	
	BS-4	255,881.56	179,459.44		BR-9		253,247.84	178,559.71	0.0		
	가설	BS-5	256,191.42	179,737.85		배수문 구간	김제5배수문	BR-9-1	253,220.12	178,575.92	
		BS-6	256,562.69	179,886.80				BR-10	253,203.57	178,582.95	
		BS-7	256,958.99	179,944.16			BB-1	254,180.53	179,129.24		
	신평천	BS-8	254,695.52	176,735.40			BB-2	254,143.28	179,072.36		
		BS-9	254,984.24	179,009.31			BB-3	254,108.00	179,025.29		
		BS-10	255,276.22	179,286.31	0.0		서포2배수문	BB-4	251,915.23	179,969.60	0.0
		BS-11	255,578.77	179,560.24				부지조성 구간	BC-1	256,331.48	178,541.67
		BS-12	255,680.27	179,922.91			BC-2		255,872.48	179,317.73	
		BS-13	255,832.64	179,924.46	2.0		BC-3		255,957.08	179,756.29	
	BS-14	254,080.30	179,568.49		BC-4		255,547.34		179,769.01	0.0	
	대창	BS-15	254,256.83	179,927.42	0.0	BC-5	254,814.65		180,113.87		
		BS-16	254,566.60	180,148.56		동진-장동 도로	BL-1	252,835.87	178,724.92		
		BS-17	254,943.24	180,279.23	0.0		BL-2	252,703.39	178,867.95	0.0	
		BS-18	253,440.37	179,928.32	0.0		BL-3	252,461.20	178,968.97		
		BS-19	253,458.30	180,325.49			BL-4	252,326.92	178,983.91		
	월평천	BS-20	253,217.84	179,886.57			BL-5	252,113.30	178,996.70		
		BS-21	253,233.06	180,225.68	0.0		BL-6	251,927.95	179,012.53		
		BS-22	253,244.88	180,508.14			BL-7	251,883.12	179,027.94		
		운산	BS-23	253,755.20	177,738.26		0.0	BL-8	251,593.46	179,053.15	
	BS-24		253,079.54	178,468.00			BL-9	251,365.17	179,099.36		
동진					BL-9-1		251,087.33	179,172.70			
					BL-10	250,784.04	179,202.11				
										최대값	7.3
										최소값	0.0

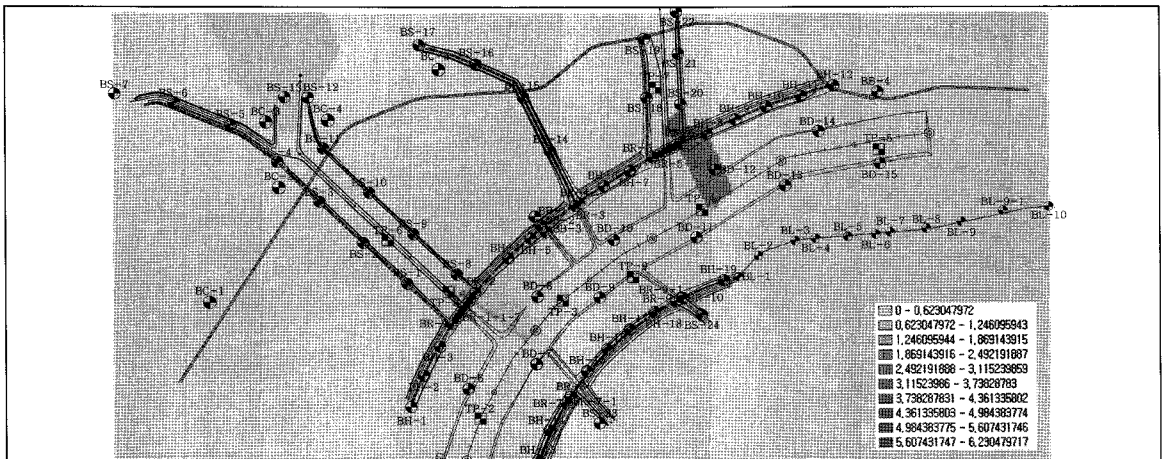


그림 9. 진동삼축시험 결과를 이용한 상세조사 후 PL치 분포도

## 기술기사 2

표 7. 상세검토결과

개량구간	개량범위	액상화 대책
신평천승수로	No. 17~No. 18	계 측 기 : 지표면에서 5m까지
신평천교	No. 404~No. 408	계 측 기 : 지표면에서 4m까지(말뚝주변)
대창교	No. 427	계 측 기 : 지표면에서 13m까지(말뚝주변)
원평천교	No. 438, No. 440	계 측 기 : 지표면에서 4m까지(말뚝주변)
	No. 442~No. 445	지반보강 : 지표면에서 10m까지(말뚝주변)

관계를 통하여 구할 수 있으므로 표 7에서 나타낸 계측기는 지중응력계과 간극수압계를 설치하는 것으로 계획하였다. 향후 이러한 계측기를 통하여 보다 정확한 지중유효응력과 과잉간극수압(계측된 유효응력과 간극수압과의 관계로부터 추정)을 구하고자 하였다.

### 6. 결론

1. 도로교설계기준을 이용한 간이 검토결과 방수제가 계획된 시점구간(BH-13 ~ BR7-1)에서 PL치가 2.9~11까지 나타나 액상화 발생 가능성이 있는 것을 알 수 있다. 동전교부근 및 동전~장등도로 구간에서는 BR-9와 BL-2 부근에서의 상세조사가 필요하다.
2. 신평천 승수로 구간에서는 BS-13에서 PL치가 6.3으로 나타나 상세조사가 필요하다. 신평천교 구간에서는 BR-1-5~BR-1-7에서만 PL치가 0.3~7.7로 나타다 교량의 안정성 확보를 위하여 반드시 상세조사를 수행해야 할 것으로 사료된다.
3. 대창 승수로 및 대창교 구간(BR-4~BS-17)에서는

PL치가 0~1.5까지 분포하고 있어 낮은 액상화 발생 가능성을 내포하고 있는 것으로 나타났다. 원평천 승수로 및 원평천교에서는 PL치가 각각 0~0.7, 0~9.7로 나타나 이 구간에서도 상세조사가 필요할 것으로 사료된다. 한편 서포2배수문 구간에서도 BB-4에서 낮은 액상화 가능성이 나타나 상세조사가 필요하다.

4. 진동삼축시험결과를 이용한 상세조사 결과 과업구간은 전체적으로 일부 구간을 제외하고 액상화 발생 가능성은 없는 것으로 검토되었다.
5. 액상화 대책으로서 일부구간에 계측기를 설치하여 지속관찰하는 것으로 계획하였으며, 액상화의 피해가 매우 농후한 것으로 예상되는 원평천교에서는 말뚝주변 상부구간에서 지반보강을 계획하는 것이 바람직 한 것으로 사료된다.
6. 본 연구는 넓은 지역에서 일부 지추조사된 성과와 실내시험 결과에 근거하여 판정하였다. 액상화 위험구간으로 평가되는 구간에서 향후 추가조사를 실시하면 보다 명확한 액상화 위험도를 판정할 수 있으며 이에 따라 개량범위 및 액상화 대책방법을 수립 할 수 있을 것으로 사료된다.

**[참고문헌]**

1. 대한토목학회 교량설계핵심기술연구단(2008), 도로교설계기준 해설, pp.961-967.
2. 岩崎敏男、龍岡文夫、常田賢一、安田進(1980), "地震時地盤液狀化の程度の予測について", 土と基礎、28(4), pp.23-29.
3. 社団法人日本道路協會(2002), 道路橋施工方書・同解説 V耐震設計編, pp. 119-133.
4. 安田進(1995), 液狀化の調査から対策工まで, pp. 2.
5. Andrus and Stokoe II(2000), "Liquefaction Resistance of Soils from Shear-Wave Velocity", J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 126 (11), pp. 1015-1025.
6. Seed, H. B. and Idriss, I. M.(1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No SM9, Proc. Paper 8371, September 1971, pp. 1249-1273.
7. Song, B. W.(2003), Evaluation for lateral flow of non-plastic silt induced by Earthquakes, Doctoral Dissertation, Ibaraki University.
8. Youd and Idriss(2001), "Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127 (4), pp. 297-313.