



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

제주도 한천 포트홀의 지형학적 특성

제주대학교 교육대학원

지리교육전공

윤 문 현

2012년 8월

제주도 한천 포트홀의 지형학적 특성

지도교수 김 태 호

윤 문 현

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2012년 8월

윤문현의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

제주대학교 교육대학원

2012년 8월

Geomorphological Characteristics of Hancheon Pothole in Jeju Island

Moon-Hyun Yoon

(Supervised by professor Tae-Ho Kim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree
of Master of Education.

2012. 8.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Sang-Chul Kwon, Prof. of Geography Education

Tae-Ho Kim, Prof. of Geography Education

Kwang-Yong Choi, Prof. of Geography Education

.....

Date

Department of Geography Education
GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

<국문초록>

제주도 한천 포트홀의 지형학적 특성

윤 문 현

제주대학교 교육대학원 지리교육전공

지도교수 김 태 호

제주도 하천은 한반도의 하천과는 달리 평상시 유수가 없어 주로 현무암으로 된 하상이 드러나는 건천을 이루고 제주도 특유의 지질, 지형 및 기후 등 자연환경도 반영된 결과이므로, 제주도 포트홀의 형성과정도 한반도 다른 지역과 차별화 될 수 있고, 지역적 고유성을 지니고 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 화산섬인 제주도의 주요 하천 가운데 한천을 중심으로 포트홀의 분포적 특성과 형태적 특성 등을 고찰하여 제주도 하천 침식지형에 대한 기초자료로 사용하는데 목적을 두고 있다.

연구지역은 제주도 한천 하류 지역에 포트홀이 집중 발달한 곳이며, 총 106개의 포트홀을 조사하였다. 포트홀들의 위치와 분포에 따라 구분하여 분류하였고, 절리의 유무에 따라 2가지 유형으로 나누어 장경, 단경, 깊이, 장단의 비, 형태, 퇴적물질을 조사하여 지형특성을 분석하였다.

연구 내용을 요약하면 중앙 주계곡부 18개, 중앙 주계곡부 암반상 46개, 하천 좌안 32개, 하천 우안 10개가 분포하며, 형태별로는 타원형 84개, 원형 10개, 복합형 12개가 조사되었다. 연구지점 중앙 주계곡부 중앙과 하천 좌안 지역에서 대표적으로 N30°W~N40°W, N30°E~N50°E 방향의 절리들이 발달되어 있다. 포트홀 내 퇴적물질의 직경이 수mm~500mm가 넘는 것까지 다양하고, 무게는 1kg 전후의 것이 보통이며 5kg을 넘는 거력의 퇴적물질들도 있었다.

포트홀 갯수면에서 절리가 있는 A-유형(Type) 43개 보다 절리가 없는 B-유

※ 본 논문은 2012년 8월 제주대학교 교육대학원 위원회에 제출된 교육학 석사학위 논문임.

형(Type) 63개가 많은 것으로 조사된 반면, 규모면에서는 절리가 있는 A-유형(Type)이 절리가 없는 B-유형(Type)보다 크게 조사되었다. 이는 절리의 유무와 포트홀 규모는 정(+)의 상관관계를 가지고, 절리의 유무와 포트홀의 수는 부(-)의 상관관계를 가지는 것으로 조사되었다.

포트홀 형태와 하상 경사도와의 관련성에서는 뚜렷한 특징을 보이고 있지 않는 것으로 판단되었다. 포트홀 형태와 규모와의 관련성 조사 결과 초기 포트홀이 형성될 때는 타원형이었다가, 이것이 성장하면서 타원형 또는 원형으로 변화하고, 성장이 더욱 확대되어 2개 이상의 포트홀이 결합되면서 복합형의 형태로 나아갈 것으로 추측된다.

포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 깊이와의 관련에서는 대체적으로 타원형은 포트홀 발달 초기에 해당되어 깊이가 얕고, 낮은 경사도에 집중 분포하는 것으로 보이고, 복합형의 경우에는 다른 포트홀에 비해 상대적으로 낮은 하상 경사에서 깊이가 얕게 나타나는 것으로 추측된다. 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 규모와의 관련에서는 복합형의 경우에는 다른 포트홀에 비해 상대적으로 낮은 하상 경사에서 큰 규모로 나타나는 것으로 추측된다.

포트홀 유형과 절리와의 관련성은 절리 개수가 적을 경우 타원형, 절리가 많을수록 복합형이 나타남을 알 수 있다. 절리방향이 하천 유로와 거의 평행한 경우보다 하천 유로와 비스듬하거나 직각에 가까운 경우에서 포트홀이 더욱 발달하는 것으로 추측된다.

본 논문은 연구방법과 내용에 있어서 제주도 한천 지역의 106개 포트홀의 유형별 조사 결과로 관련성을 비교분석할 수 있도록 수치화하여 나타냄으로서 그 의미가 있고, 제주도 하천침식지형 연구에 있어 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

목 차

국문초록	i
I. 서 론	1
1. 연구목적	1
2. 연구동향	2
3. 포트홀의 정의 및 형성원인	5
II. 연구지역 및 연구방법	7
1. 연구지역	7
1) 지리적 위치	7
2) 지형	9
3) 지질	11
4) 기후	14
2. 연구 방법	17
III. 포트홀 지형 특성	19
1. 유형별 특징	19
1) 위치 및 형태별 분류	19
(1) 하상 포트홀	22
(2) 하안 포트홀	22
2) 절리별 분류	22
(1) A-유형(Type) 포트홀	23
(2) B-유형(Type) 포트홀	29
2. 포트홀의 퇴적물질 특성	36

3. 포트홀의 형태요소별 관련성	40
1) 포트홀 유형과 하상 경사도와의 관련성	40
2) 포트홀 유형과 규모와의 관련성	41
3) 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 깊이와의 관련성	42
4) 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 규모와의 관련성	43
5) 포트홀 유형과 절리와의 관련성	44
IV. 결론	46
참고문헌	49
Abstract	52
부 록	54

표 목 차

표 1. 제주도의 구성 암석	12
표 2. 연구지역 포트홀 분류	19
표 3. 연구지역 하상 포트홀의 수와 형태별 비율	22
표 4. 절리별 분류 결과	23
표 5. A-유형(Type) 포트홀 제원표	26
표 6. B-유형(Type) 포트홀 제원표	32
표 7. A-유형(Type) 포트홀 내 퇴적물질 제원표	37
표 8. B-유형(Type) 포트홀 내 퇴적물질 제원표	39
표 9. 절리 개수별 포트홀 유형 분류	44
표 10. 절리 방향에 따른 유형 분류	45

그림 목 차

그림 1. 포트홀의 형성 단면도	6
그림 2. 제주도의 지리적 위치	7
그림 3. 연구지역의 지리적 위치	8
그림 4. 제주도의 수치지형도	9
그림 5. 제주도 하천의 수계도	10
그림 6. 제주도의 지질도	11
그림 7. 연구지역의 지질도	13
그림 8. 제주시의 월별 평균 기온	14
그림 9. 제주시의 월별 강수량	15
그림 10. 연구지역 하천의 모습	16
그림 11. 연구지역 조사 모습	17
그림 12. 연구지역의 포트홀 분포도	21
그림 13. A-유형(Type) 포트홀 단면도	24
그림 14. No. 81 포트홀 내부 단면도	24
그림 15. A-유형(Type) 포트홀 분포도	25
그림 16. A-유형(Type) 포트홀 사진	28
그림 17. B-유형(Type) 포트홀 단면도	29
그림 18. No. 35 포트홀 내부 단면도	29
그림 19. B-유형(Type) 포트홀 분포도	31
그림 20. B-유형(Type) 포트홀 사진	35
그림 21. 포트홀 내 퇴적물질 조사	36
그림 22. 하상 경사도에 따른 포트홀 형태 분포	40
그림 23. 포트홀 유형과 규모와의 관련성	41
그림 24. 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 깊이와의 관련성	42
그림 25. 포트홀 유형과 하상경사도에 따른 규모와의 관련성	43
그림 26. 절리방향에 따른 절리 개수	45

I. 서 론

1. 연구목적

우리나라는 국토의 약 65%가 산지로 이루어져 산지하천이 발달되어 있다. 지표의 삭박은 주로 유수에 의해 진행되어 하천은 침식·운반·퇴적작용을 수행하면서 각종 하천지형(河川地形)을 형성한다. 하도 양안에서 토사를 제거하거나 하상의 기반암을 깎아 내는 하천의 침식작용을 간단히 하식(河蝕, stream erosion)이라고도 한다. 하식은 유량이 크게 증가하는 홍수시에 활발히 진행된다. 하식과정은 크게 수압(水壓)에 의해서 하상이나 하도 양안의 토사가 흡취·제거되어 절리로 많이 갈라진 기반암이 하상에 드러나 있을 때 암괴가 물살을 받아 기반암이 뜯겨져 나오는 침식과정인 굴식(掘蝕, plucking)과 하상의 기반암에 가해지는 마식(磨蝕, abrasion)작용으로 구분할 수 있다(자연지리학 사전편찬위원회, 1996). 이러한 하천의 침식작용에서 일반적으로 강조되는 것은 하상의 기반암에 가해지는 마식이다. 하상의 기반암이 깎이는 것과 같은 마식은 유수에 운반되는 자갈이나 모래와 같은 도구를 통해서 일어난다. 하상의 기반암이 마식을 받아서 형성되는 지형 중에는 폭포 바로 밑에 파이는 폭호(暴壺, plunge pool)와 구혈(甌穴)이 특이하다(권혁재, 2002).

경남 밀양의 호박소, 울산 작괘천, 경북 문경 용추계곡, 청송 신성계곡, 강원 인제 백담계곡, 영월 요선암, 경기 가평천 등 전국 산지하천에서 흔히 볼 수 있는 포트홀(pothole)은 암반상에 유수의 침식에 의해 발달한 원형 혹은 타원형의 하천 침식지형으로 순 우리말로는 돌개구멍이라고 한다(박종관, 2005). 처음에 오목한 부분이 들어간 자갈이 소용돌이치는 물살로 인해 회전운동을 계속하면, 오목한 부분은 점점 마식되어 깊게 파이게 된다.

하천의 침식 과정에서 발생한 포트홀에 관한 연구는 하천의 침식력과 침식과

정을 설명할 수 있는 지표가 될 수 있다. 그러나, 지금까지 국내의 포트홀에 관한 연구는 일반적인 개념 및 일부지역의 분포정도를 밝히고 있을 뿐 아직 형성 매커니즘의 규명은 체계적으로 이루어지지 않고 있다. 제주도의 경우 한반도의 지형과는 다른 화산지형으로 이루어져 있고, 지리적인 거리차로 인해서 전반적인 학계의 연구가 이루어지지 않은 실정이다. 특히 제주도 하천이 한반도의 하천과는 달리 평상시 유수가 없어 주로 현무암으로 된 하상이 드러나는 건천을 이루고 제주도 특유의 지질, 지형 및 기후 등 자연환경도 반영된 결과이므로 제주도 포트홀의 형성과정이 한반도 다른 지역과 차별화 될 수 있고, 지역적 고유성을 지니고 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서는 화산섬인 제주도의 주요 하천 가운데 한천을 중심으로 포트홀의 분포적 특성과 형태적 특성 등을 고찰하여 제주도 하천 침식지형에 대한 기초자료로 사용하는데 목적을 두고 있다.

2. 연구동향

우리나라 산지하천에서 볼 수 있는 하천 침식지형인 포트홀은 주요한 지형 경관임에도 불구하고 국내에서는 아직까지 포트홀에 관한 구체적인 연구사례나 자료들이 드문 실정이다.

이호재(1985)는 ‘지리산 사면하천의 포트홀에 관한 연구’에서 포트홀의 개념, 성인, 형성인자를 설명하고, 또한 포트홀을 몇가지 유형으로 구분하고 이들은 독립형-결합형-하도형-도형(鳥型)순으로 발전해가며 이들은 윤회적(輪廻的)경향을 보임을 밝혔다. 포트홀에 영향을 주는 인자로는 유속과 절리 등으로서 특히 절리는 포트홀을 형성시키기도 하지만 포트홀을 파괴시키는 인자임을 설명하였다. 원통이나 단지 모양이 대부분의 포트홀은 사암이나 화강암 등 등질성(等質性)의 단단한 암석의 경우에 잘 발달하고, 암석 하상에 포트홀이 집중적으로 발달한 경우 암석하상을 파괴하여 점차 낮아지게 하는 결정적인 역할을 하게 된다. 즉, 이것

을 암석하상이 파괴되고 평탄화되는 윤회적 진행과정이라고 보았다.

김은미와 배수경(1987)은 ‘가평천 포트홀에 관한 연구’에서 포트홀의 발달유형이 단독형, 복합형, 하도형, 도형의 형태로 발전하는 윤회적 성격을 나타내, 포트홀의 성장에 있어 절리는 중요한 요인이라고 하였다. 또한 이 지역의 포트홀은 타지역과 비교하여 유수의 공격면이 파괴되는 정도가 높다고 하였다.

권동희(2002)는 ‘가평 지역의 지형경관특성과 활용방안’에서 포트홀에 관한 연구가 매우 빈약하다고 지적하고, 하천지형연구에 균형적인 발전을 위해 다양한 주제의 하천 지형연구가 진행되어야 할 것을 주장하였다.

박희두(2002)는 ‘화양계곡(속리산 화양천)의 하상 기반암 상에 발달하는 하식 미지형’에서 포트홀, 풍화혈(weathering pits) 그루브(groove), 폭호 등이 있고 절리와 기반암의 암질 차이가 하식 미지형 발달의 중요한 인자라고 밝혔다.

김종연(2004)은 ‘기반암 하상 하천에서의 퇴적물 특성 변화에 대한 연구’에서 스코틀랜드의 River Etive를 사례로 포트홀 안에 퇴적물의 입자들을 분석하여 높은 구형도는 포트홀 내에 포획된 입자들 간의 상호작용에 의한 것으로 판단하였다.

전영권(2005)은 ‘지오투어리즘을 위한 대구 앞산 활용 방안’으로 앞산에서 볼 수 있는 대표적인 지형인 포트홀을 일반인도 이해 할 수 있을 정도의 설명문을 개발하고자 하였다.

전홍근(2010)은 ‘가평천 포트홀군의 지형경관 특성’에서 가평천 포트홀군의 발달과정을 유형별 중첩 분포도를 통해 유형의 특징에 따라 연속적으로 어떻게 성장하는지 설명하고 유형별 조사 결과로 상관관계를 비교·분석할 수 있도록 수치화하여 나타내었다. 그 결과 서로 다른 암질이 아닌 등질성의 암질의 편리 방향을 따라 포트홀이 발달하며, 절리가 없으며 규모가 작은 포트홀이 집중분포하여 포트홀군을 형성하는 것으로 판단하였다.

Twidale(1982)은 유수의 기반암에 있는 절리선을 따라 흐르게 되고 기반암의 표면이 절리와 암질 등의 차이에 의하여 넓어지게 되면 그 안을 흐르는 물이 소용돌이치게 되면 그에 따른 규칙적인 나선형 패턴에 의하여 원통형의 마식구가

만들어진다고 하였다. 특히 포트홀의 측면은 암석의 구조와 암석이 하천수에 의해 습윤한 상태에 있는 기간에 의하여 영향을 받고 철산화물과 망간산화물이 암석표면에 굳으면 풍화와 침식에 대한 암석의 저항력이 커지게 되며, 물이 포트홀 내 밑바닥에 고여 있기 때문에 낮은 측벽 부분이 높은 측벽 부분보다 더욱 빠르게 풍화를 받는다고 하였다.

포트홀은 기반암 하상하천²⁾의 침식 과정에서 매우 중요한 역할을 하고 있으며, 따라서 포트홀의 침식에 관여하는 요소들은 직접적으로 기반암 하상의 침식 과정에 영향을 미치는 것으로 이해될 수 있다. 포트홀은 주로 천이점(knickpoint) 전면부의 볼록면 면(lip)이나 하부의 폭호 부근에 주로 형성된다(Young, 1985; Bishop and Goldrick, 1992). 현재까지 이러한 포트홀의 형성과 발달은 하천의 침식 에너지와 관련하여 고속류에 의한 cavitation³⁾(Barnes, 1956)과 퇴적물질에 의한 포트홀 내부의 마식 2가지 매커니즘이다. 퇴적물질은 포트홀내에서 회전운동을 행하면서 포트홀의 내벽을 침식하면서 동시에 퇴적물 자체의 형상 변화를 경험하게 된다. 성장하는 포트홀은 보다 많은 퇴적물을 수용할 수 있게 되며, 증가하는 포트홀 내의 퇴적물은 포트홀의 내벽 및 하부 침식을 강화하게 됨도 밝혀졌다(Alexander, 1932). 특히 퇴적물이 회전운동을 하는 환경하에서 기반암으로 이루어진 원통의 하부침식률은 원통 내에 투입되는 퇴적물질의 양이 증가함에 따라 증가한다고 설명하고 있다.

퇴적물의 입자 크기로 본다면 하상 퇴적물은 바(bar)부분의 퇴적물이 가장 조립질(粗立質)이며 현재 하상에 위치하는 퇴적물질이 가장 세립질(細粒質)로 나타난다. 이는 기반암 하상의 bar 부분 퇴적물들이 홍수시 운반·퇴적된 후 일시적으로 안정화 된 퇴적층임을 확인하여 주는 것이다. 하상 퇴적물질이 세립질인 것은 현 하상이 하천의 최심 하상선을 이루는 곳으로서 홍수시에도 가장 큰 운반 에너지를 갖는 관계로 홍수시 퇴적이 일어나기 보다는 침식이 우세하며, 대부분의 퇴적물질이 그대로 통과(flush out)되기 때문인 것으로 사료된다. 즉 하상에 존재

2) 기반암 하상하천(bedrock river) : 하천 하상 및 제방이 완전히 혹은 부분적으로 기반암으로 구성된 하천으로 하천의 수문 수리학적 특성이 기반암에 의해서 통제되는 하천이다.
 3) cavitation(공동현상) : 빠른 속도로 액체가 운동할 때 액체의 압력이 증기압 이하로 낮아져서 액체 내에 증기 기포가 발생하는 현상이다.

하는 입자들의 경우 운반능력이 현저히 저하된 상태인 평수위, 혹은 저수위시의 하천의 운반능력과 퇴적물 공급 상황만을 반영하고 있음을 알 수 있다.⁴⁾

3. 포트홀의 정의 및 형성원인

포트홀은 하상 암반의 오목한 곳이나 깨진 곳에 와류(渦流)가 생기면, 그 에너지에 의해 원통형의 깊은 구멍이 생겨난 것이다. 하상 암반의 오목한 곳이나 깨진 곳 등에 와류가 생기고, 그 와류의 에너지에 의하여 구멍이 생긴 뒤 다시 그 구멍으로 들어간 돌이 와류에 의하여 회전하면서 암반을 깎아내어 깊은 원통형 구멍을 파면서 점점 커지고 깊어진다. 이 구멍 안에는 깎여서 둥글게 된 작은 돌이 들어 있는 경우가 많으나 와류의 에너지만으로 생성되는 경우도 있다. 원통형 외에도 암질과 유수의 형태에 따라 나선형, 약탕관 모양, 중발 모양 등이 있다. 지름은 수cm에서 10m 이상, 깊이도 수cm에서 수m에 이른다.

포트홀은 유수의 운반작용, 짐을 운반할 수 있는 유수의 힘, 하상의 경사가 복합적으로 작용하여 암반에 침식작용과 마식작용을 동시에 행하면서 생성 발달한다(그림 1). 초기에는 하상이 주변지역 보다 낮거나 절리 등의 틈이 있는 부분에 유수에 의해 운반된 사력물질의 하상에 대한 마식작용으로 형성된다. 암반하상에 파인 와지의 일종으로 일단 이러한 포트홀이 형성되면 암편이 계속 들어와 길이와 폭을 확장시킨다. 이들 암편은 소용돌이로 인하여 회전하면서 파여진 와지에서 서로 부딪쳐 모서리가 마모된다(반용부 외, 1983).

4) 김종연(2004)에서 재인용.

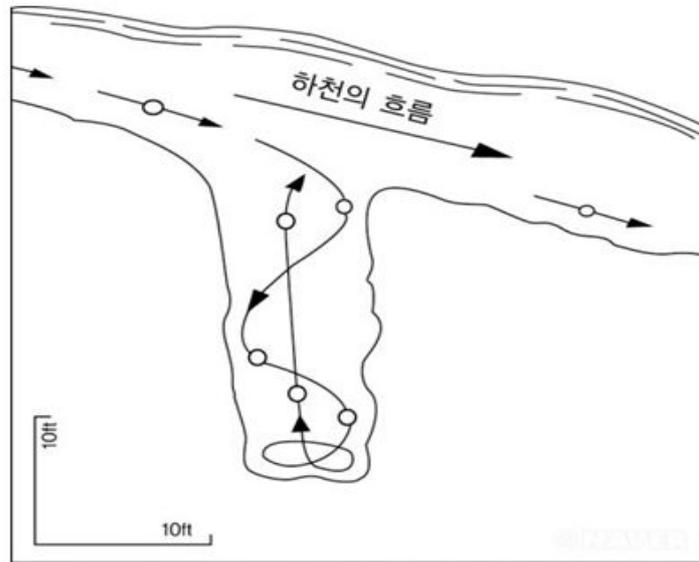


그림 1. 포트홀의 형성 단면도(자료 : 네이버 지식사전).

이 때 소용돌이를 일으키는 유수는 외벽에 대한 입사각이 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 일 때 회전수가 최대가 된다(Alexander, 1932). 그러므로 이 때에 포트홀의 확장이 이루어지며 와류하는 동안 원심력이 커져 운반되던 무거운 짐이 바깥쪽으로 이동하여 회전함으로써 포트홀을 성장시킨다.

포트홀의 발생, 성장 과정은 밀집과도 관계가 있다. 밀집이란, 유수에 의해 운반되는 짐 중 가장 크고 무거워 거의 하상 가까이에서 운반되는 입경이 큰 물질이나 암편으로 하상면을 따라 구르거나 미끄러지면서 이동한다. 포트홀의 성장 발달 과정 중에는 도구로서의 짐의 역할이 크다(Strahler and Strahler, 1983). 즉 일단 성장을 하고 있는 포트홀 내에 커다란 도구가 들어가서 빠른 유수의 힘에 의해 소용돌이치며 서로 부딪쳐 마모되는 확률이 높기 때문이다.

이와 같은 포트홀의 발생과 성장은 여러 가지 복합적 요인에 의하며, 포트홀이 발달하는 기반암이 동질의 암석으로 되어 있을 때 더욱 수월하고, 유수의 속도가 크며 와류를 잘 일으킬 수 있게 입사각이 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 인 하천유역에서 잘 발생하는 것이다.

Ⅱ. 연구지역 및 연구방법

1. 연구지역

1) 지리적 위치

제주도는 한반도의 남해상에 위치한 화산도로서 우리나라 남해안에서 보면 남서쪽으로 치우쳐져 있다. 제주도에서 북쪽으로 목포까지의 거리가 149km, 북동쪽으로 부산과의 거리는 302km이며, 서울과는 469km 떨어져 있다. 그리고, 한국 주변에 위치한 중국, 일본의 중앙부에 제주도가 위치하고 있어 예로부터 지정학적으로 매우 중요한 위치를 점하고 있는 곳이다(그림 2).

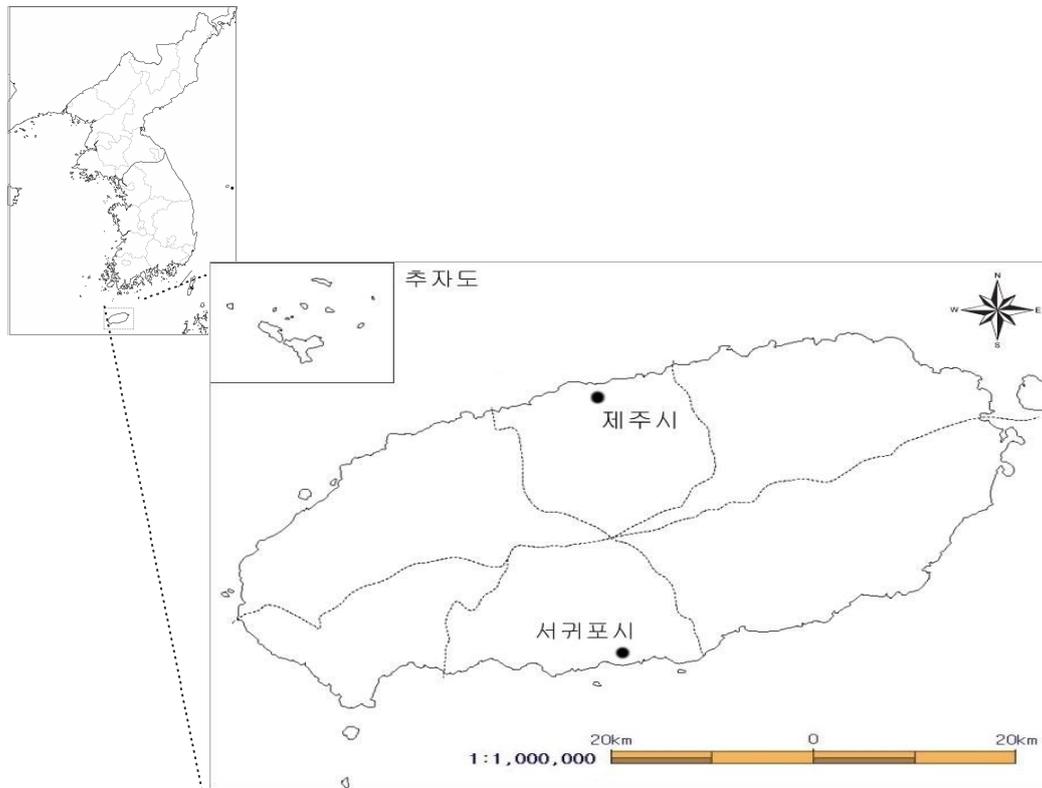


그림 2. 제주도의 지리적 위치

제주도는 동경 126°08′ ~ 126°58′, 북위 33°06′ ~ 34°00′에 속한다. 형태는 북동동-남서서 방향으로 가로놓인 타원형으로 남북간의 거리가 31km, 동서간의 거리가 73km이다(제주도 자연환경생태정보시스템).

연구지역은 제주도의 주요 하천 가운데서 북쪽으로 흐르는 한천이다. 한천은 길이 약 16km로, 제주도에서 가장 긴 하천이고, 유역면적규모는 34.57km²이다. (한라일보사, 2001). 한천(漢川)은 한내(大川)라 부르며 한라산을 기점으로 산북 제일의 하천으로 제주시의 3대 하천 중에서도 으뜸으로 꼽는다. 한천은 한라산 정상 백록담 북쪽에서 발원하여 제주시 오등동, 오라동을 거쳐 용담동 용연(龍淵)을 통해 바다로 흘러들어 간다(제주도·한라산생태문화연구소, 2006). 또한 한천은 약 16km의 짧은 유로에 비해 약 2,000m의 고도차를 극복해야 하는 하천이다. 따라서 하천의 유로는 거의 직선상으로 발달한다.

본 연구지역은 제주시 오라동 고지교 부근으로 수리적으로 북위 33°29′10″, 동경 126°31′05″ 위치한다.

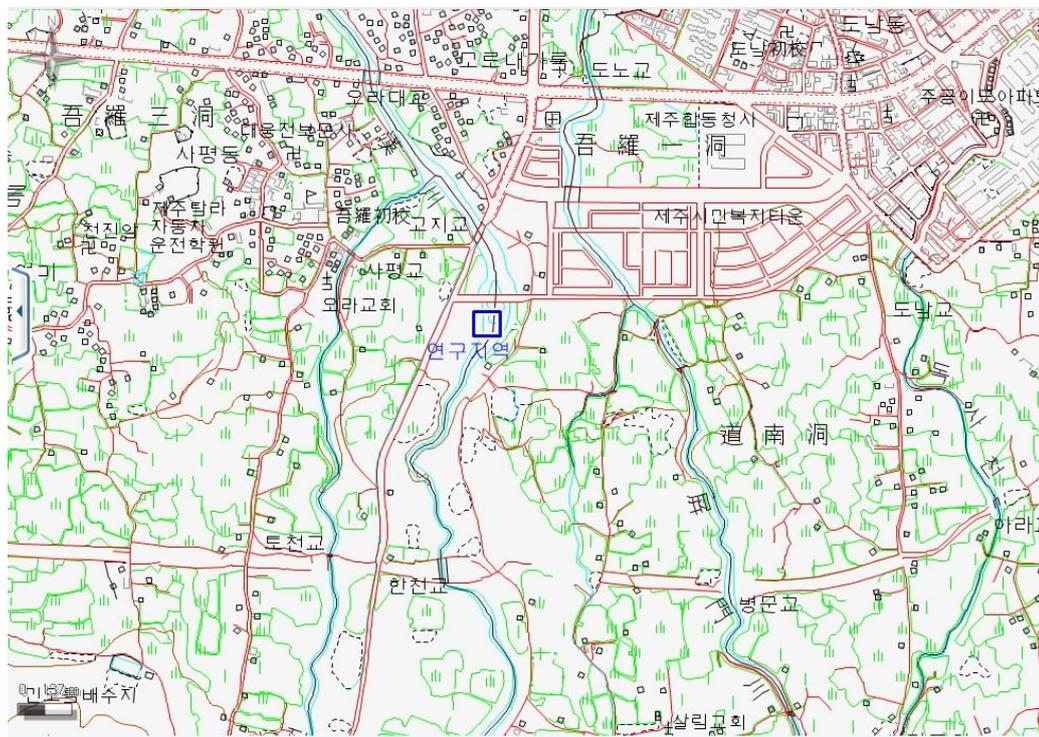


그림 3. 연구지역의 지리적 위치

(자료 : 환경부 공간정보서비스 생태·자연도 1:25,000, <http://egis.me.go.kr/egis/>)

2) 지형

제주도는 제3기말 플라이오세에서부터 제4기 동안 수차례의 화산활동에 의해서 형성되었다(제주도, 2004). 해발고도 1950m의 한라산은 중심 화산체로서 제주도의 대표적인 화산지형의 특색을 잘 보여주고 있다. 제주도의 화산지형은 침식윤희단계에서 유년기에 해당하여 화산 원지형이 많이 보존되어 있다. 세부적인 제주도의 화산 지형은 해안에서 내륙의 중심부를 향하여 3부분으로 나눌 수 있다. 해안에서 해발고도 200m에 이르는 지대는 낮은 구릉들이 있는 평탄한 해안 지대이며, 200m에서 600m에 이르는 지대는 완만한 사면을 이루는 중산간 지대이며, 600m 부근에서부터는 사면이 급해져서 한라산의 정상에 이르는 산간지대이다. 제주도 전역에 걸쳐 약 360개 이상의 분석구(응회환, 응회구가 일부 있음)가 해발 고도에 따라 분포하고 있다(제주도, 1998).

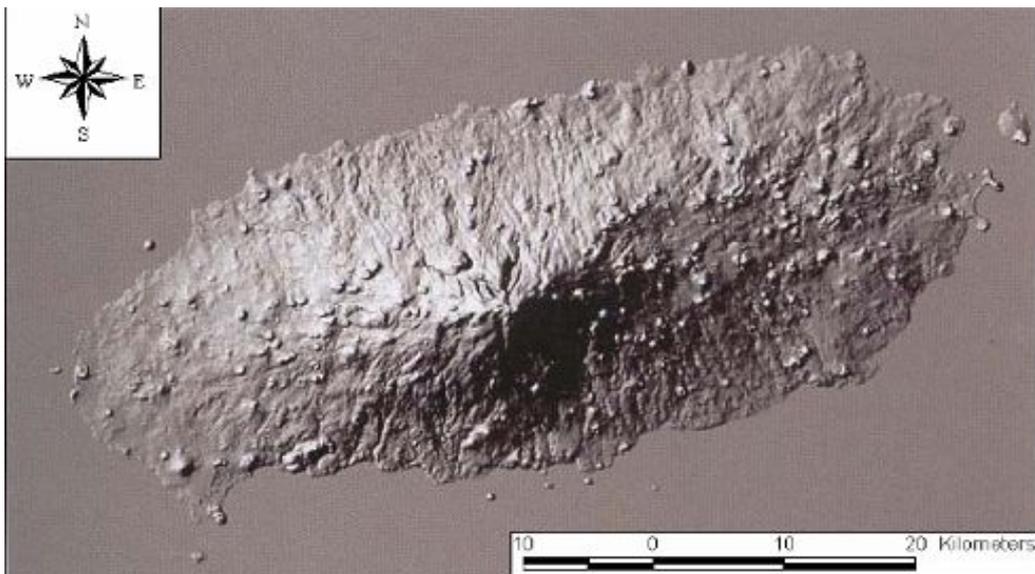


그림 4. 제주도의 수치지형도(자료 : 제주도 지리정보실, 1999).

제주도는 화산도의 특징을 반영하여 수계내 차수발달은 극히 미약한 편이다. 한라산에서 조면암으로 구성되어 있는 정상 남북측에서는 V자형 침식계곡을 따라 소규모로 지표하천이 잘 발달되어 있는 반면, 현무암질 용암으로 구성되어 있

는 정상 동서측 지역은 하천의 발달이 극히 미약하다. 또한 제주도는 한라산을 중심으로 방사상 수계를 이루고 있으며 이들은 거의 강수 직후에만 유수가 나타나고 대부분의 시기에 하상바닥이 드러나는 건천(乾川)에 속한다(제주도 자연환경생태정보시스템).

제주도는 순상화산체의 화산지형적 특징 때문에 급경사를 극복하기 위한 직선상의 유로 형성과 깊은 계곡이 잘 발달되는 특징이 있다(제주시, 2005). 지형적인 요인으로 한라산과 동서 장축을 분수령으로 하여 60여개의 하천이 북류 또는 남류한다(그림 5). 하도는 중상류뿐만 아니라 하구 부분의 최하류 구간에서도 기반암으로 구성되어 있어 전체 구간이 산지하천의 양상을 보인다. 따라서 하도 구성물질이 사력으로 구성되어 있는 충적하천과는 여러 가지 다른 성격을 지니고 있다. 일반적으로 산지하천은 사력의 분급과 파쇄·마모 기능이 활발하고 하상은 계단상을 이루는 경우가 많다. 또한 곡벽에 의해 하도의 평면형상이 제약을 받는 등 기반암의 영향이 크게 작용하므로 충적하천과 하도특성에 큰 차이를 보인다. 그리고, 산지하천 특유의 폭포와 급류가 많이 출현하므로 계단상 종단면형을 이루며 굴식작용과 마식작용으로 포트홀, 소, 폭포가 잘 발달한다(김태호, 2004).

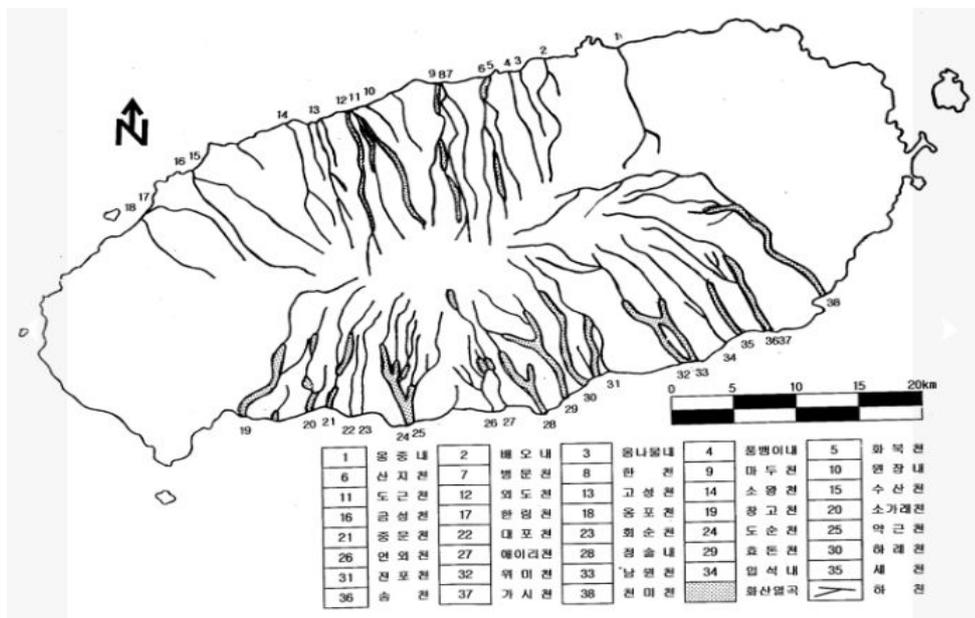


그림 5. 제주도 하천의 수계도(자료 : 김일중, 2002).

3) 지질

제주도는 주로 현무암질 용암류의 연속적인 분출에 의해서 만들어진 순상화산체로 100여m의 수심을 갖는 대륙붕 위에 놓여 있다. 제주도의 기저부는 한반도 남부해안과 유사한 백악기 응회암으로 구성되어 있다. 응회암 위로는 100~200m 두께의 미고결 퇴적층이 피복하고 있으며, 그 위로 제 4기의 화산활동에 의한 분출물이 출현한다(그림 6). 제주도 형성사는 이 화산활동의 순서와 시기구분을 둘러싸고 이견을 보이는데, 가장 널리 알려진 4단계 형성사를 중심으로 제주도의 화산활동사와 지질을 정리하면 다음과 같다.⁵⁾

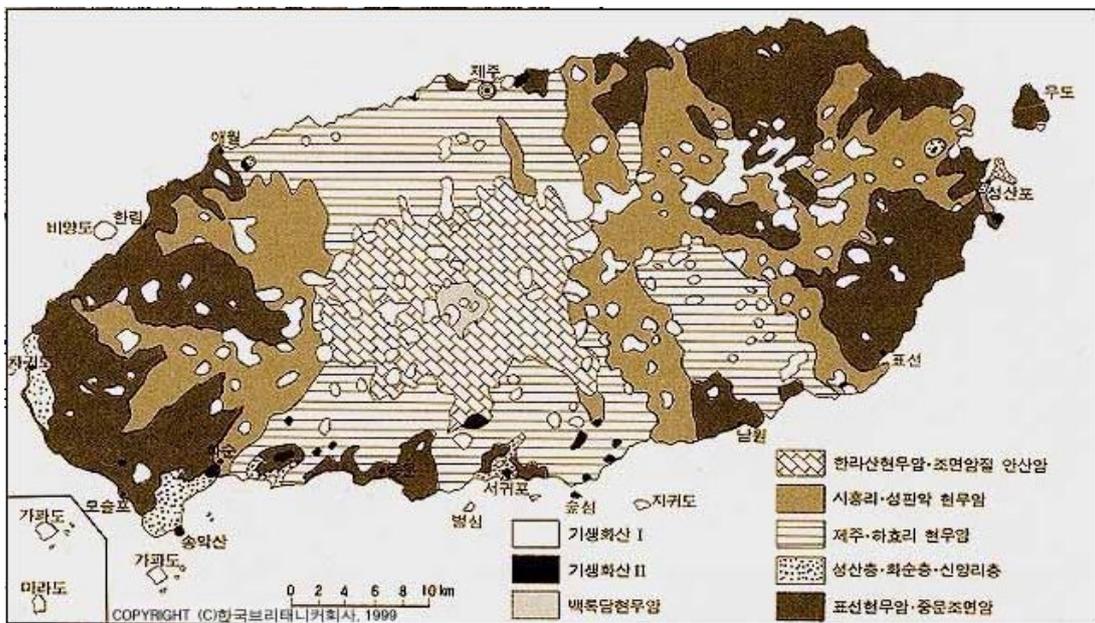


그림 6. 제주도의 지질도

(자료 : 한국브리태니커, <http://www.britannica.co.kr/>)

제 1 분출기(87만년)는 해수면 아래의 기저부를 형성, 제 2 분출기(60만년~37만년)에 용암대지 형성기로 한라산 본체를 제외한 제주도 대부분 모습이 결정되었다. 제 3 분출기(27만년)는 중앙부의 중심분화로 변화하여 한라산의 순상화산을 형성하였고 제 4 분출기는 제주도 전역에 걸쳐 소형 화산체가 형성된 시기이다(김지영, 2006).

5) 김태호(2004)에서 재인용.

그 결과 제주도의 지질은 기반암과 화산분출암인 현무암류, 조면암류, 조면암질 안산암류와 화산분출물 및 화산쇄설성 퇴적암, 사구 등으로 구성되어 있다(표 1).

표 1. 제주도의 구성 암석(자료 : 한국자원연구소, 2000).

시기	암 석
제4기	조면현무암(VIII)
	조면현무암(VII)
	현무암(III)
	조면현무암(VI)
	조면현무암(V)
	조면암
	퇴적암
	조면현무암(IV)
	조면현무암(V)
	조면암
	퇴적암
	조면현무암(IV)
	조면현무암(III)
	현무암(II)
	조면현무암(II)
	현무암(I)
	조면현무암(I)
조면안산암	
제3기	서귀포층
	미고결퇴적층(U층)
백악기	응결응회암
	화강암

한천 연구지역의 지질은 정실 현무암이다(한국지질자원연구소, 2000). 이 암석은 정실 마을을 남북으로 가로질러 흐르는 하천을 따라 약 1,000m² 범위에 걸쳐 노출되어 있다. 정실 현무암은 결정질 용암류(熔岩流)로 구성되어 있다. 이 용암류는 북측에서 남측의 한라산 쪽으로 계단상 지형을 이루고 있으며, 이는 용암류의 분출이 여러 차례 일어났음을 시사한다. 이 용암류의 두께는 간접적으로 추정할 수 있는데, 용암류에 의해서 형성된 계단상 지형의 고도 차이로 미루어 볼 때

약 15m 정도로 추정된다. 용암류의 점성은 비교적 높았던 것으로 추정되며, 오라초등학교(NG49.3/155.2)의 구간에는 크링커층이 두껍게 피복하고 있다.

이 용암류는 다공질로 기공은 암석의 15%에 이른다. 기공의 크기는 1~5cm로 원형 내지는 표면 가까이는 유동 방향에 따라 타원형으로 기공이 신장되어 있기도 한다. 이 암석은 흑회색 암색으로 반상조적을 보여준다. 반정광물은 5~10mm 크기의 사장석이 약 25%, 5mm 크기의 휘석이 약 5%이고, 3mm 크기의 감람석이 소량 산점해 있다. 하부로 가면서 사장석과 휘석은 1cm로 커지고 유동구조에 따라 배열하는 특징이 있다. 주상 절리의 크기는 80cm로 지표 부분에 발달해 있다.

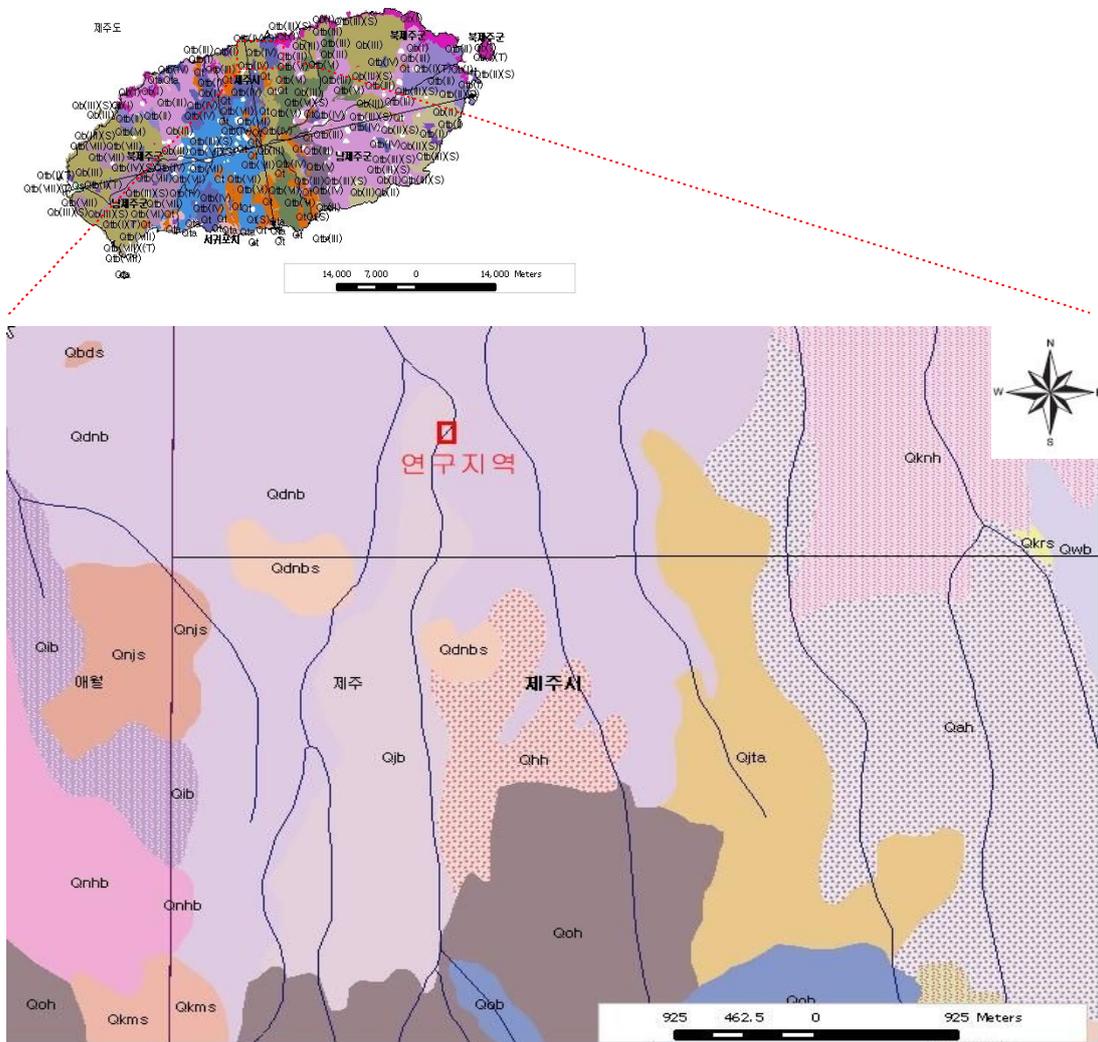


그림 7. 연구지역의 지질도

(자료 : 한국지질자원연구원 지질주제도서비스, <http://gmap.kigam.re.kr/>)

4) 기후

제주도는 아시아 대륙 동쪽에 위치하여 몬순의 영향이 큰 대륙 동안 기후의 특징을 보일 뿐만 아니라, 사면이 바다로 둘러싸여 있어 해양성 기후의 요소도 많이 나타난다. 또한 섬의 중앙부에 위치한 해발 1,950m의 한라산과 근해를 흐르는 해류가 중요한 기후인자로 작용하여 기상의 변화가 심하고 국지적 특성이 많으며 한반도와는 다소 다른 유형의 기후를 형성하고 있다(김태호, 2001).

제주도의 연평균기온은 11.7℃로 서귀포 지역이 가장 높고 한라산 정상부가 가장 낮다. 같은 위도 상에 위치한 세계의 다른 지역과 비교해 보면 제주도의 연평균기온이 가장 낮은 것을 알 수 있다. 이는 제주도가 대륙 동안의 해양도서로서 겨울에는 대륙의 영향을 깊게 받아 저온이 되고 여름은 이와 정반대로 해양의 영향을 받아 고온이 되지 않기 때문이다. 최근 30년간 제주도의 연평균기온을 보면 제주시가 15.2℃, 서귀포시가 15.9℃로 나타났다.

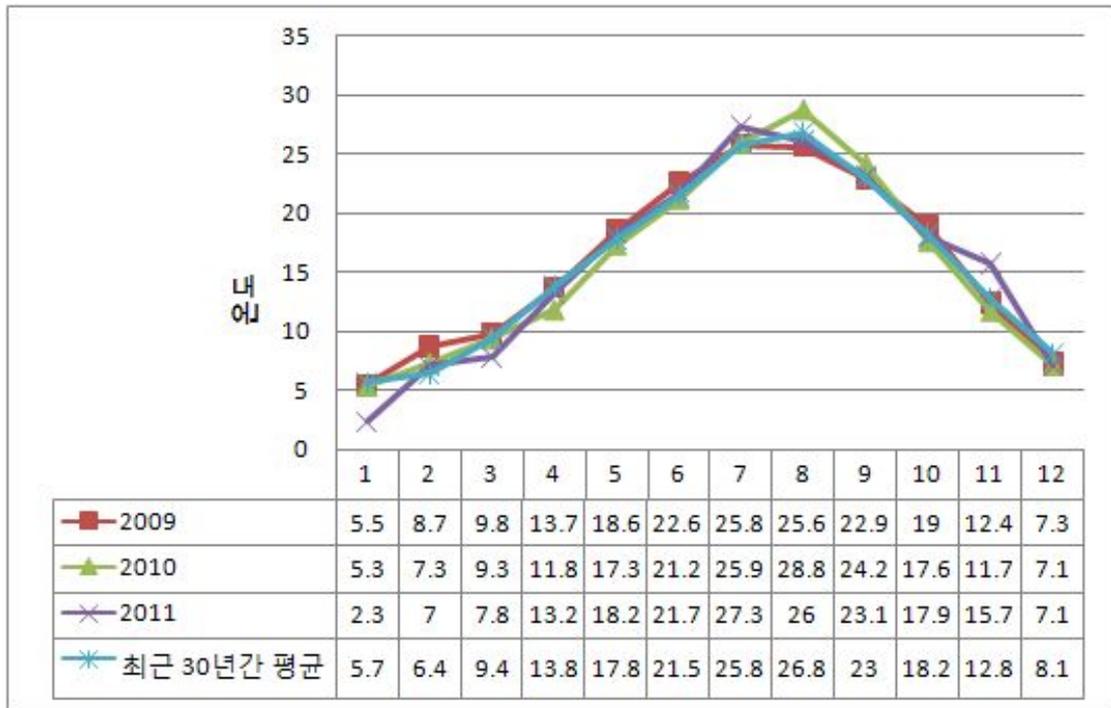


그림 8. 제주시의 월별 평균 기온(단위:℃)

(자료 : 기상청 관측자료, <http://jeju.kma.go.kr/>)

최근 30년간 제주도의 연평균 강수량은 전체적으로 2,044mm, 해안저지대만 하더라도 1,560mm로서 한국에서 가장 비가 많이 오는 곳이다. 같은 위도상에 분포하고 있는 지역들보다도 제주도가 많은 강수량을 보여주는 원인은 일반적인 수리적 기후인자들 외에도 해양에 접해있는 절해의 고도이며 1,950m 높이의 한라산이 섬 중앙에 우뚝 솟아 있어서 해양으로부터 습기를 많이 포함한 기단이 확산될 때 한라산의 높은 지형이 막아주는 역할을 해 주기 때문이다. 특히 한라산 남동지역에서의 여름철 강수량은 최대가 된다. 또한 한라산 중산간 지역과 산악 지역의 강수량은 각각 1,780mm와 2,766mm로 나타나지만, 더욱 많은 강수량이 기록될 것으로 추측되는 최다우지역이다.

강수의 계절적 분포를 보면 연강수량의 약 43%가 6월~8월인 여름에 내리는데 이것은 서울 60%, 대구 51%에 비해 낮은 집중도를 보이는 것이다. 이와 같이 상대적인 고른 계절별 강수는 봄철과 가을철의 강수량이 많은 결과이다. 특히 여름장마 이전에 소위 '고사리 장마'라고 하는 봄장마가 특징적이다. 봄 장마시에는 안개비가 지속적으로 내려 봄철 강수량은 연강수량의 약 23%에 달하기도 한다(제주도 자연환경생태정보시스템).

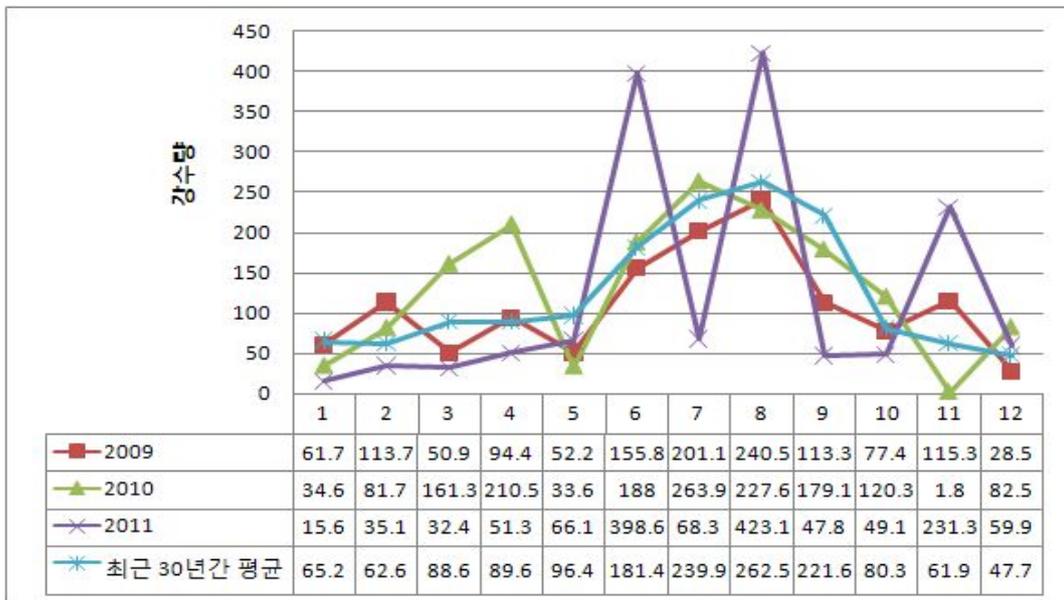
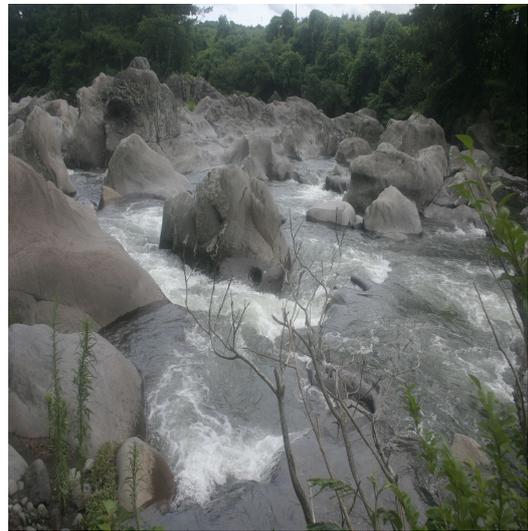


그림 9. 제주시의 월별 강수량(단위 : mm)

(자료 : 기상청 관측자료, <http://jeju.kma.go.kr/>)

본 연구지역이 위치한 제주시 한천 일대는 다우지역에 속하고 있고, 제주도의 주요 하천은 대부분 한라산 국립공원구역의 산악지대인 최다우지에서 발원하고 있다. 제주도 하천의 대부분이 비가 내린 직후에만 유수가 나타나는 건천인 특징이 있고, 침투율을 초과하는 큰 규모의 강수가 발생하면 급격하게 유량이 증가하는 전형적인 플래쉬성 유출을 보인다(김태호, 2002). 특히 여름철 집중호우로 하천의 수위가 순식간에 높아지면, 물이 엄청난 속도와 세기로 흐른다. 이렇게 빠르고 거센 물줄기가 암괴나 자갈을 실어나르는 운동에너지를 가진다(전홍근, 2010). 이 때 포트홀이 형성될 가능성이 높다.



(a) 평상시 하천(건천)의 모습(하류 방향) (b) 호우시 하천의 모습(하류 방향)

그림 10. 연구지역 하천의 모습

2. 연구 방법

본 연구방법은 문헌조사와 야외조사를 병행 실시 하였다. 야외조사는 국립지리정보원 발행 1:5,000 지형도 제주 도폭과 1974년 국립지질광물연구소 발행 1:50,000 지질도 제주 도폭을 이용하여 2011년 3월부터 8월 사이에 집중적으로 현장조사 하였다. 현장에서 연구지점의 포트홀 분포도를 조사하기 위하여 노끈에 1m 간격으로 표시하여 중앙 주계곡부 좌안과 암반상 20m×40m의 106개의 포트홀 분포를 모눈종이에 1눈금을 10cm로 측정하였다. 절리를 따라 작은 크기의 요지형들도 나타나므로 본 연구에서는 장경 10cm 이상의 요지형을 포트홀로 규정하여 조사 대상으로 삼았다. 그리고 5m 줄자를 이용하여 포트홀의 폭(장경, 단경)과 깊이를 조사하고, 클리노미터를 이용하여 절리의 방향을 조사하였다.

한편, 절리의 유무(有無) 관계에 따라 포트홀을 모두 2개의 유형으로 분류하여 장경, 단경, 깊이, 장단경의 비, 형태별 모형, 퇴적물질의 유무를 분석하는 등 전체 106개의 포트홀로 형성된 포트홀 지형경관 특성을 분류하였다. 또한 포트홀 내 퇴적물질을 가장 직경이 큰 순서대로 장경, 중경, 단경, 그리고 무게를 측정하여 그 안에 얼마나 큰 퇴적 물질이 있는지 조사하였다. 또한, 이전의 포트홀 연구와 비교 분석하여 본 연구지역의 포트홀의 특성에 대한 검토를 하고자 하였다.



(a) 1m 간격으로 분포도 작성



(b) 연구지역 20m×40m 분포도 측량 ①



(c) 연구지역 20m×40m 분포도 측량 ②



(d) 포트홀 내 퇴적물질 조사

그림 11. 연구지역 조사 모습

Ⅲ. 포트홀 지형 특성

1. 유형별 특징

1) 위치 및 형태별 분류

이호재(1985)의 연구에서는 독립형, 결합형, Solution Pan과 관련된 형, 절리 관련형, 하도형, 도형으로 분류하였고, 전홍근(2010)의 연구에서는 절리와 편리를 관련시켜 A-Type, B-Type, C-Type, D-Type의 4가지 유형과 형태별로 타원형, 원형, 복합형으로 분류하였다. Richardson and Carling(2005)은 Simple potholes(원형, 타원형, 나선형, undercut, 초기형, 홀 중앙에 돌기를 가진 형), Potholes with external furrows, Compound potholes, Breached potholes, Lateral potholes 등으로 분류하였다.

표 2. 연구지역 포트홀 분류

구분	하상 포트홀		하안 포트홀
	원형	타원형	측면형
독립형			
복합형			

본 연구에서는 기존 분류법을 응용하여 적용시키고자 하였다. 기본적으로 하상에 만들어지는 하상 포트홀과 암반 측면에 만들어지는 하안 포트홀로 구분하고, 하상 포트홀의 경우 외형적 구분으로 1차적으로 개별적인 것과 2개 이상 합쳐진 것에 대하여 각각 독립형, 복합형으로 구분하였다. 2차적으로 독립형에 대하여 평면도에 입각하여 원형과 타원형(나선형)으로 각각 구분하였다(표 2).

그리고, 연구지역의 좌측 계곡부 좌·우안과 중앙 암반상의 포트홀을 상부에서 하부방향을 향해 20m×40m에 걸쳐 분포되어 있는 포트홀 분포도를 작성하였다(그림 13). 그 결과 한천 중앙 주계곡부 18개, 중앙 주계곡부 암반상 46개, 하천 좌안 32개, 하천 우안 10개, 총 106개가 조사되었다.

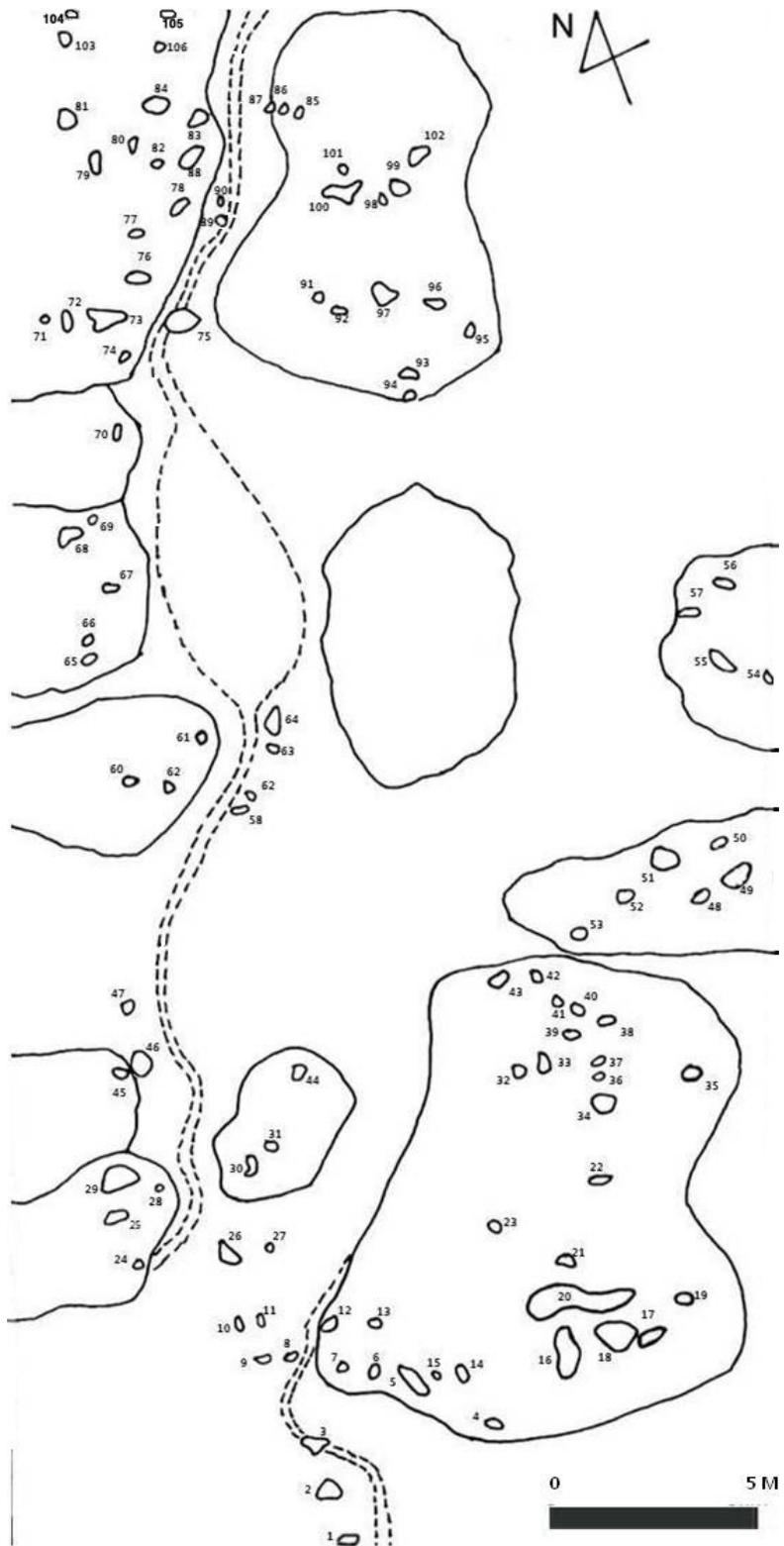


그림 12. 연구지역의 포트홀 분포도

(1) 하상 포트홀

하상 포트홀은 하천의 바닥에 형성된 전형적인 포트홀을 말한다. 본 연구지역에서 조사된 하상 포트홀 수는 총 106개 중 102개(96.22%) 이다. 형태별로는 타원형, 원형, 복합형이 나타나고 있다. (표 3)에서 나타난 것과 같이 타원형이 84개(78.44%)로 가장 많이 나타나며, 복합형 12개(11.76%), 원형이 10개(9.80%)로 가장 적게 분포하고 있다. 이것으로 미루어 보아 연구지역에 발달한 포트홀은 이전 연구자들의 주장한 포트홀의 발달단계 중 대부분이 발달 초기의 독립형(타원형, 원형)에 해당하며 이후에 더욱 발달할 것이라고 판단된다.

표 3. 연구지역 하상 포트홀의 수와 형태별 비율

형 태	수	비 율(%)
타원형	80	78.44
원 형	10	9.80
복합형	12	11.76
계	102	100

(2) 하안 포트홀

하안 포트홀은 하천의 양안 둔덕 부근에 형성된 포트홀로 정의 내려 보았다. 이전 국내 연구에서는 찾아볼 수 없는 형태로서, 대부분 급경사의 기반암 측면에 형성된 포트홀이다(표 2). 본 연구자는 이러한 포트홀을 측면형이라고 명명(命名)하였고, 총 4개가 조사되었다. 4개 모두 타원형이었고, 절리가 없는 형태였다. 그리고, 유속이 빠르고 유량이 집중되는 하도의 공격사면에 형성 되어 있었다. 본 연구에서는 하안 포트홀에 대한 연구가 미비하다. 앞으로 하안 포트홀의 발달 과정 및 형태 등에 관한 보완작업이 필요하겠다.

2) 절리별 분류

본 연구지역에서 조사된 106개의 포트홀의 분포를 구분하여 장경, 단경, 장 · 단경의 비, 깊이, 형태, 절리 주향, 퇴적 물질을 조사하였다. 그리고 전홍근

(2010)의 연구내용과 같이 절리의 유무에 따라 포트홀의 규모와 개수에 어떠한 영향을 주는지에 대하여 2가지 유형(A-Type, B-Type)으로 분류하여 지형특성을 분석하였으며 그 결과는 (표 4)과 같다.

표 4. 절리별 분류 결과

유형 (Type)	정의	평균크기(cm)				형태	충전물질			갯수 (비율)
		장경 (a)	단경 (c)	장단비 (c:a)	깊이		계 (비율)	유(有)	무(無)	
A	절리: 유(有)	72.4	40.2	0.58	17.2	타원	36 (83.72%)	18	18	총 : 43 (40.57%)
						원	2 (4.65%)	2	0	
						복합	5 (7.63%)	4	1	
B	절리: 무(無)	58.1	31.9	0.60	14.9	타원	48 (76.19%)	24	24	총 : 63 (59.43%)
						원	8 (12.70%)	6	2	
						복합	7 (11.11%)	4	3	

(1) A-유형(Type) 포트홀

A-유형(Type)은 절리가 있는 포트홀로 정의하였다(그림 13). 총 43개의 포트홀이 A-유형(Type)로 분류되었고, 이것들의 평균장경 72.4cm, 평균단경 40.2cm, 평균깊이 17.2cm, 평균장단의 비 0.58으로 2개의 타입 중 평균 장경, 단경, 깊이가 가장 높게 조사되었다. 형태별로 타원형 36개, 원형 2개, 복합형 5개로 파악되었다.

pothole No.2

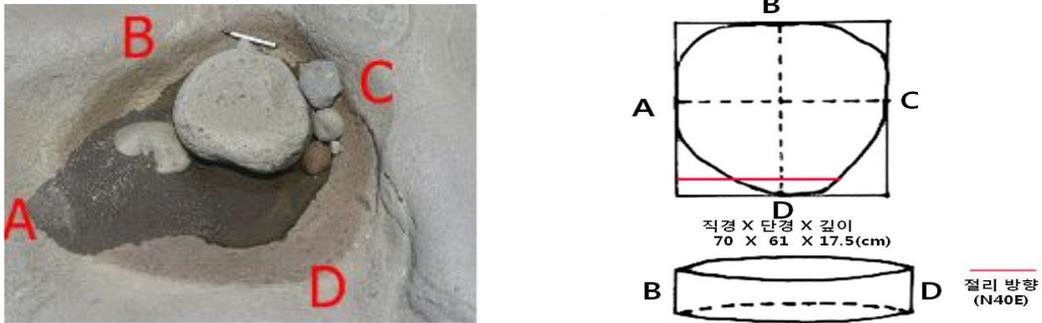


그림 13. A-유형(Type) 포트홀 단면도

2번 포트홀의 경우 원형의 포트홀로 절리(N40°E)가 상단 끝 부분을 수평으로 통과하며, 장경 70cm, 단경 61cm, 깊이 17.5cm이다(그림 13).

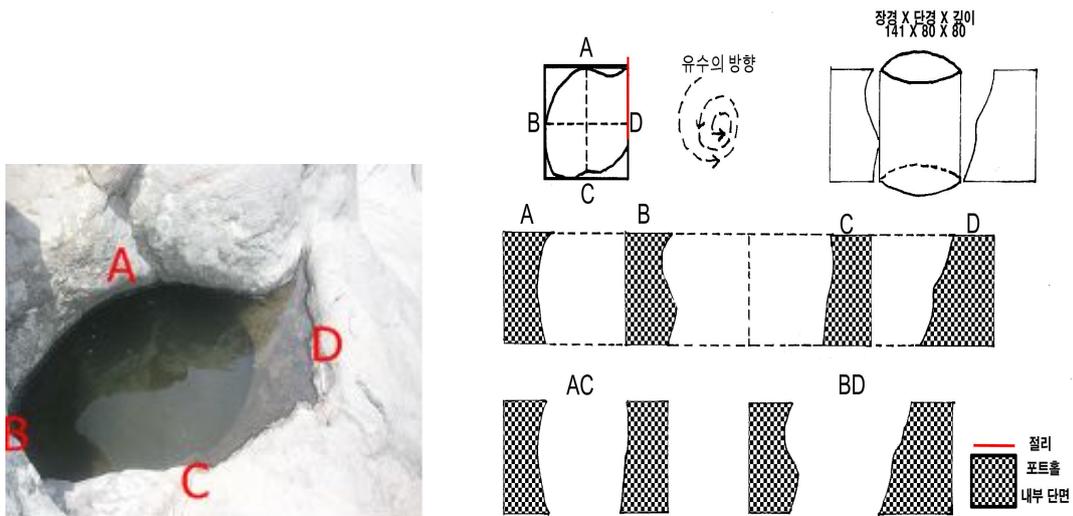


그림 14. No. 81 포트홀 내부 단면도

81번 포트홀은 타원형의 포트홀로 절리(N78°E)가 오른쪽 상단부분을 통과하며, 장경 141cm, 단경 80cm, 깊이 80cm이다(그림 14).

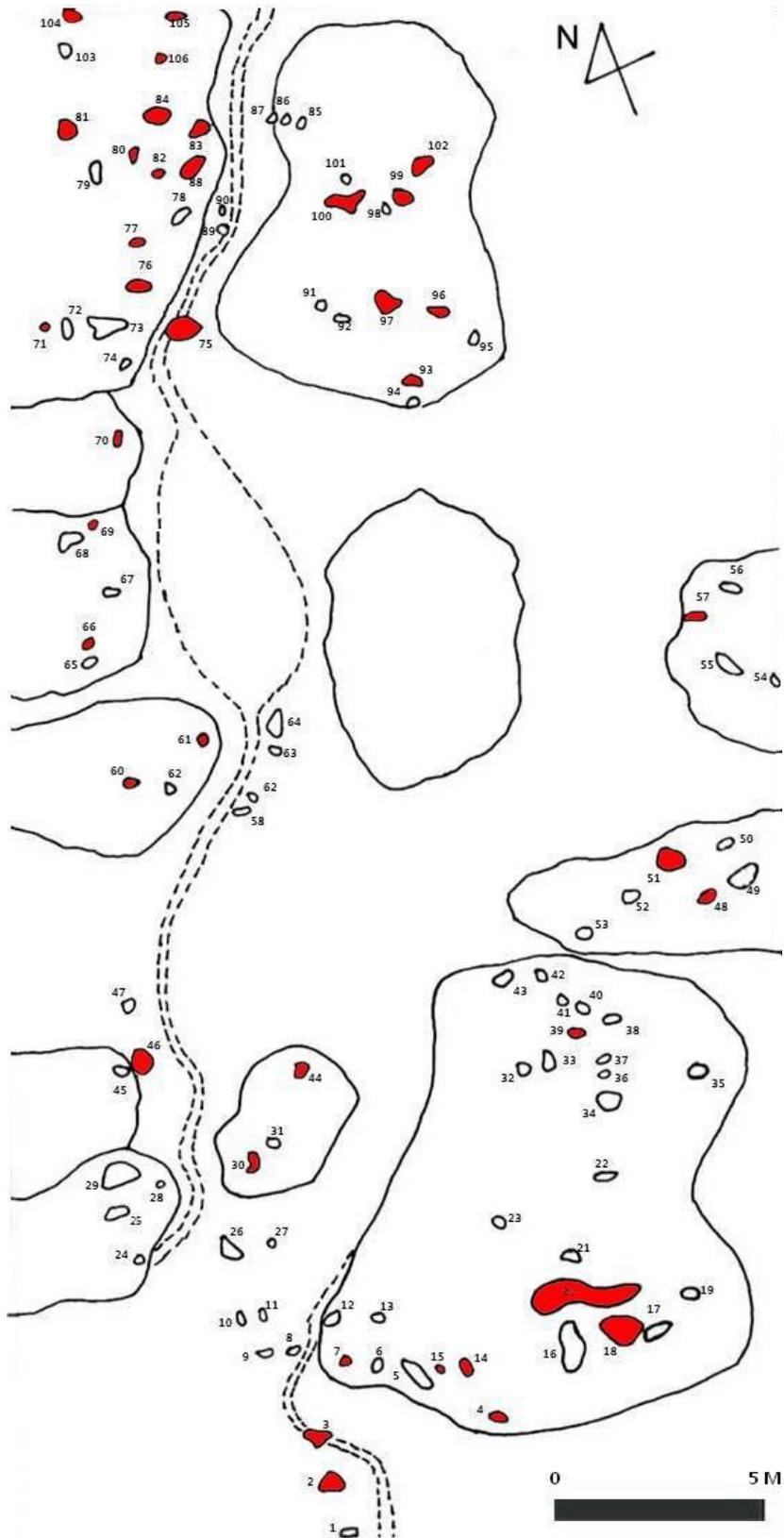


그림 15. A-유형(Type) 포트홀 분포도

표 5. A-유형(Type) 포트홀 제원표

번호	장경 (a,cm)	단경 (c, cm)	깊이 (cm)	장단경의 비(cm)	형태	철리 (유,무)	퇴적물질	철리방향
2	70	61	17.5	0.87	원형	○	○	N40°E
3	90	62	10.5	0.69	복합	○	○	N60°E N30°W N40°W
4	54	50	13	0.92	타원	○	×	N73°E
7	25	15	10	0.6	타원	○	×	N39°E N58°E
11	58	9	2	0.15	타원	○	×	N38°E
14	33	19.5	3	0.59	타원	○	×	N80°E
15	10	4.7	4.5	0.47	타원	○	×	N82°W
18	100	77	9	0.77	타원	○	×	N40°W
19	36.5	31	9.5	0.85	타원	○	×	N N70°E
20	274	84	33	0.31	복합	○	○	N44°E N62°W
30	69	41	14	0.59	타원	○	×	N72°W N44°W
39	23	11	4	0.48	타원	○	×	N68°W
40	13	9.5	2	0.73	타원	○	×	N40°W
41	22	12	3	0.54	타원	○	×	N40°W
44	44	37	35	0.84	원형	○	○	N32°E
46	90	81	70	0.9	타원	○	○	N72°W N N34°W
48	70	24	8.5	0.34	복합	○	×	N42°W N N60°E
51	89	68	60	0.76	타원	○	○	N12°W N80°W
57	72	19	15	0.26	타원	○	○	N34°W
60	38	16	5	0.42	타원	○	×	N56°E
61	30	17	6	0.57	타원	○	○	N30°E
66	32	27	10	0.84	타원	○	○	N80°E

번호	장경 (a,cm)	단경 (c, cm)	깊이 (cm)	장단경의 비(cm)	형태	절리 (유,무)	퇴적물질	절리방향
69	34	20	5	0.59	타원	○	○	N54°W
70	64	13	3.5	0.2	타원	○	×	N40°E
71	32	22	3	0.69	타원	○	○	N80°W
75	110	85	54	0.77	타원	○	○	N52°E
76	111	34	13	0.31	타원	○	×	N10°E
77	38	17	10	0.45	타원	○	○	N10°W N52°W
80	112	41	20	0.37	타원	○	×	N50°E
81	141	80	80	0.57	타원	○	×	N78°E
82	58	28	7	0.48	타원	○	×	N40°W
83	95	50	21	0.53	타원	○	○	N26°W
84	107	89	38	0.83	타원	○	○	N44°E
88	104	33	15	0.32	타원	○	○	N40°W N26°W
93	64	48	13	0.75	타원	○	○	N32°E
96	104	48	16	0.46	타원	○	○	N40°W
97	154	107	18	0.69	복합	○	○	N44°W N62°E
99	83	70	30	0.84	타원	○	○	N82°E
100	126	42	7	0.33	복합	○	○	N82°E N30°E
102	66	37	10	0.56	타원	○	○	N82°E N30°E
104	65	33	11	0.51	타원	○	○	N50°E
105	61	30	9	0.49	타원	○	×	N50°E N56°E
106	40	25	13	0.62	타원	○	○	N80°W
평균	72.4	40.2	17.2	0.58				



(a) No. 18 포트홀



(b) No. 20 포트홀



(c) No. 69 포트홀



(d) No. 82 포트홀



(e) No. 100 포트홀



(f) No. 106 포트홀

그림 16. A-유형(Type) 포트홀 사진

2) B-유형(Type) 포트홀

B-유형(Type)은 절리가 없는 포트홀로 정의하였다(그림 17). 총 63개의 포트홀이 B-유형(Type)로 분류되었고, 평균장경 58.1cm, 평균단경 31.9cm, 평균깊이 14.9cm, 평균장단의 비 0.60 으로 조사되었다. 형태별로 타원형 48개, 원형 8개, 복합형 7개로 파악되었다.

pothole No.5

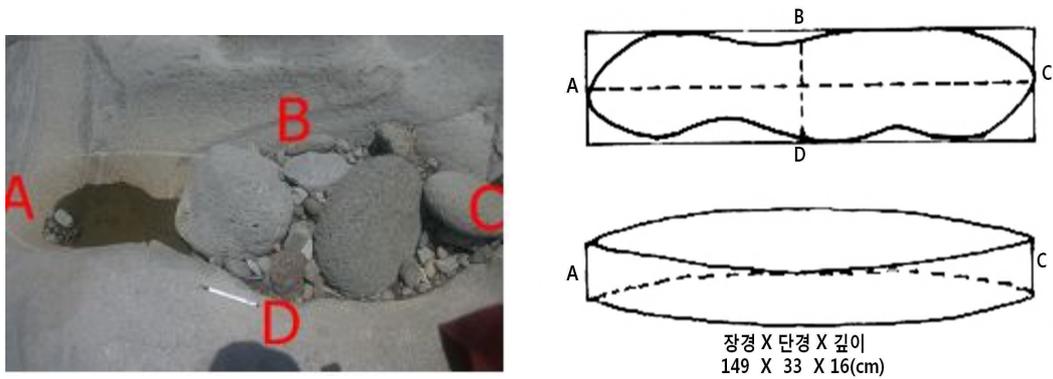


그림 17. B-유형(Type) 포트홀 단면도

5번 포트홀은 복합형의 포트홀로 장경 149cm, 단경 33cm, 깊이 16cm이다. 다양한 크기의 퇴적물질이 쌓여 있는 모습이다(그림 17).

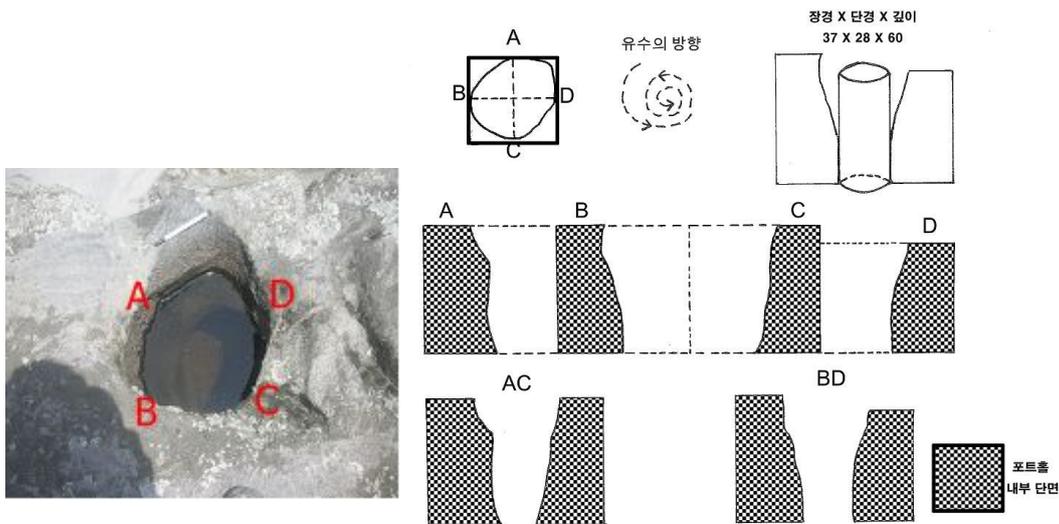


그림 18. No. 35 포트홀 내부 단면도

35번 포트홀의 경우, 연구지역에서 조사된 포트홀 중 가장 상위 사면에 형성된 전형적인 원형의 포트홀이다(그림 18). 장경 37cm, 단경 28cm, 깊이 60cm 이고 포트홀 주변에 이끼가 성장하는 것으로 보아 포트홀 성장이 멈춘 것으로 판단된다.

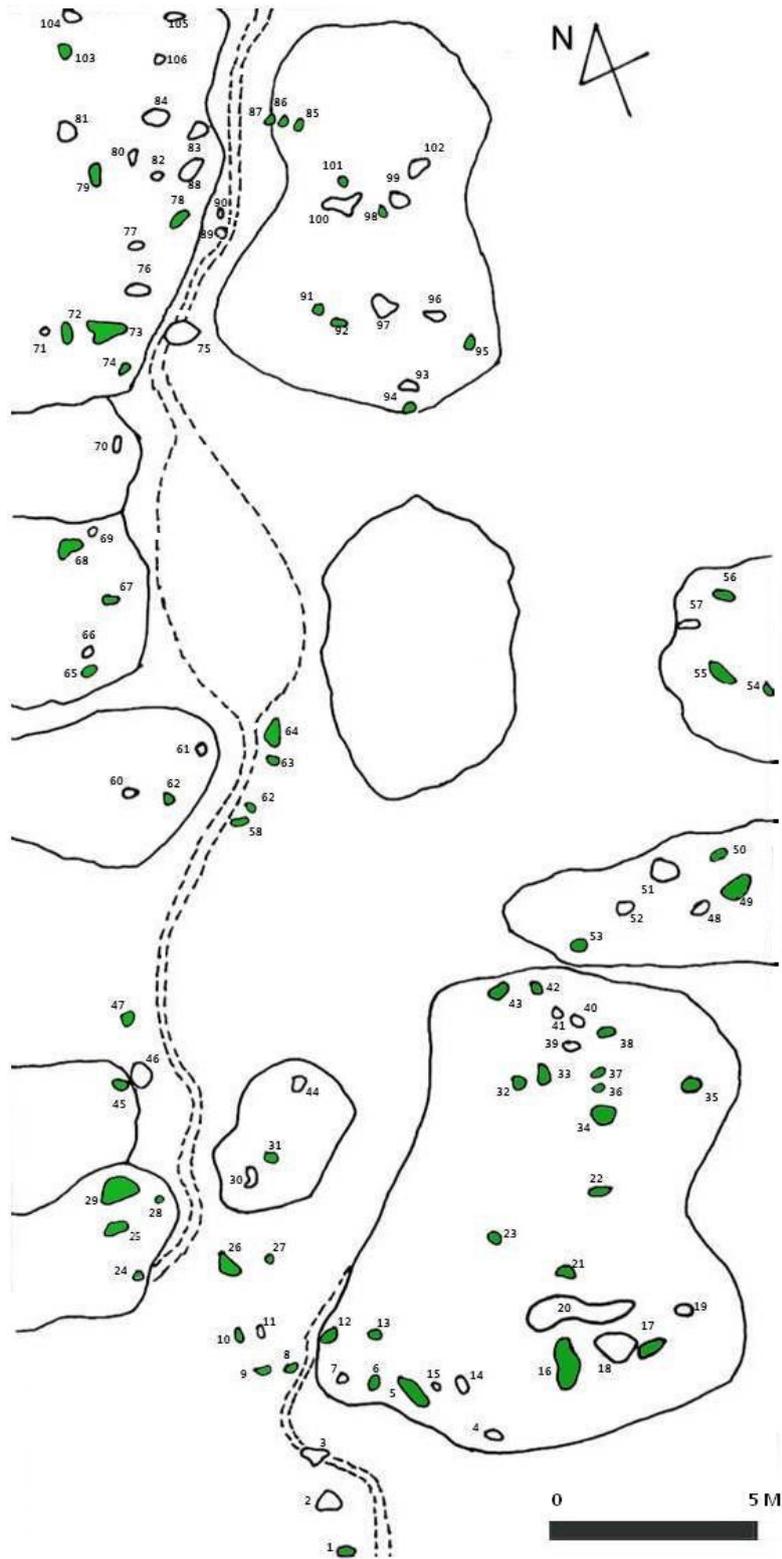


그림 19. B-유형(Type) 포트홀 분포도

표 6. B-유형(Type) 포트홀 제원표

번호	장경 (a,cm)	단경 (c, cm)	깊이 (cm)	장단경의 비(cm)	형태	절리 (유,무)	퇴적물질
1	19	10	8	0.53	타원	×	×
5	149	33	16	0.22	복합	×	○
6	44	26	5	0.59	타원	×	×
8	45	25	7	0.55	타원	×	×
9	25	13.5	6.5	0.54	타원	×	×
10	56	37	10	0.66	타원	×	×
12	90	42	6.6	0.47	타원	×	○
13	23	14	8	0.6	타원	×	○
16	136	42	24	0.3	복합	×	×
17	72	28	15	0.38	타원	×	×
21	58	34	8	0.59	타원	×	×
22	41	7	5	0.17	타원	×	○
23	34	30	5	0.88	원형	×	○
24	19.5	14	7.5	0.72	타원	×	○
25	84.5	59.5	19.5	0.7	타원	×	○
26	105	50	10	0.48	복합	×	×
27	44	24.5	7	0.56	타원	×	×
28	39.5	14	2.5	0.35	타원	×	×
29	108	69	30	0.64	타원	×	○
31	31	27	27	0.87	타원(측면)	×	○
32	38.5	37	15	0.96	원형	×	○

번호	장경 (a,cm)	단경 (c, cm)	깊이 (cm)	장단경의 비(cm)	형태	절리 (유,무)	퇴적물질
33	97	90	12	0.93	복합	×	×
34	90	80	12	0.89	원형	×	×
35	37	28	60	0.76	원형	×	○
36	23	22	4	0.96	원형	×	×
37	20	10.5	2	0.52	타원	×	×
38	35	25	7	0.71	타원	×	×
42	25	16	6.5	0.64	타원	×	×
43	59	45	12	0.76	타원	×	○
45	50	40	60	0.8	타원	×	×
47	39	22	6	0.56	타원	×	×
49	95	64	20	0.67	타원	×	×
50	65	19	5	0.29	타원	×	○
52	67	53	45	0.79	타원	×	○
53	35	29	10	0.83	원형	×	○
54	43	31	10	0.72	타원	×	○
55	110	50	25	0.45	복합	×	○
56	63	19	20	0.3	타원	×	×
58	41	23	10	0.56	타원	×	○
59	32	23	8	0.72	타원	×	○
62	30	24	6	0.8	타원	×	×
63	17	10	3	0.59	타원	×	○

번호	장경 (a,cm)	단경 (c, cm)	깊이 (cm)	장단경의 비(cm)	형태	절리 (유,무)	퇴적물질
64	127	54	20	0.42	타원	×	○
65	40	36	13	0.9	타원	×	○
67	37	23	8	0.62	타원	×	×
68	99	40	10	0.4	복합	×	○
72	87	41	20	0.47	타원	×	○
73	144	52	27	0.36	복합	×	○
74	27	12	5	0.44	타원	×	×
78	102	43	14	0.42	타원	×	×
79	127	60	23	0.47	타원	×	○
85	43	20	50	0.46	타원(측면)	×	○
86	35	23	40	0.66	타원(측면)	×	○
87	56	30	30	0.53	타원(측면)	×	×
89	28	21	4	0.75	타원	×	○
90	30	17	4	0.57	타원	×	×
91	27	24	19	0.89	원형	×	○
92	50	30	7	0.6	타원	×	○
94	67	30	8	0.45	타원	×	○
95	95	23	5	0.24	타원	×	○
98	35	15	3	0.43	타원	×	×
101	36	23	22	0.64	타원	×	×
103	34	34	22	1	원형	×	○
평균	58.1	31.9	14.9	0.60			



(a) No. 16 포트홀



(b) No. 23 포트홀



(c) No. 50 포트홀



(d) No. 68 포트홀



(e) No. 91 포트홀



(f) No. 101 포트홀

그림 20. B-유형(Type) 포트홀 사진

2. 포트홀의 퇴적물질 특성

연구지역에 분포한 포트홀에 담겨 있는 퇴적물질들 중에서 가장 크기가 큰 순서대로 3개씩 꺼내어 유형별로 장경, 중경, 단경을 구하고, 무게를 측정하였다 (그림 21). 조사결과 직경이 수mm~500mm에 이르는 것까지 다양하게 조사되었으며, 무게는 2.5kg 전후이다. 그리고 5kg을 초과하는 것도 다수 발견되었다. 평균 장경 14.9cm, 중경 11.6cm, 단경 8.5cm, 그리고 무게 2.58kg으로, 유수의 흐름이 강한 중앙 주계곡 양안과 절리가 발달하고 깊이가 깊을수록 거력의 퇴적물이 다수가 조사되었다. 퇴적물의 종류로는 현무암 및 조면암류의 화산암류와 응회암등이 분포하고 있다.



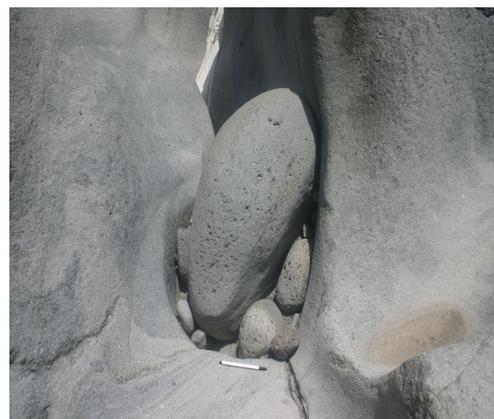
(a) 포트홀 내 퇴적물질



(b) 퇴적물질 무게측정 ①



(c) 퇴적물질 무게측정 ②



(d) 주 계곡 양안의 거력 퇴적물질

그림 21. 포트홀 내 퇴적물질 조사

A-유형(Type)에서는 평균 장경은 17.5cm, 중경은 13.9cm, 단경은 10.3cm, 무게는 3.6kg으로 2가지 유형 중 포트홀 내 퇴적물의 평균 크기와 무게가 가장 높게 조사되었다(표 7). 44번, 75번, 84번, 99번 포트홀의 경우 퇴적물질의 무게도 5kg이상의 물질이 나타나는 모습을 보였고, 특히 75번, 84번, 99번 포트홀의 경우 크기가 큰 순서대로 3개씩 조사한 퇴적물질들이 전부 5kg이상으로 조사되었는데, 유수의 흐름이 강한 주계곡 암반 양안과 규모가 크고 깊이가 깊은 포트홀에서 주로 나타나는 것으로 파악된다.

표 7. A-유형(Type) 포트홀 내 퇴적물질 제원표

유형	포트홀번호	장경(cm)	중경(cm)	단경(cm)	무게(kg)
A	2	20.5	18	14.5	2.8
		14	12	8	1.3
		14	13	12	0.9
	44	34	32	15	5 ↑
		11	9	7	2
		7	6	5	0.8
	46	50	30	30	10
		5	5	4	0.2
		5	4	3	0.1
	51	21	17	12	4.4
		21	16	10	4.2
		18	15	7	3.1
	52	17	16	10	3.2
		14	13	10	2.2
		8	6	4	0.3
	57	19	16	10	3.2
		12	11	10	1.7
		12	9	6	0.7
	71	17	16	10	4.25
		4	3	2	0.1
		3	2	2	0.1

유형	포트홀번호	장경(cm)	중경(cm)	단경(cm)	무게(kg)
A	75	40	30	23	5 ↑
		35	27	15	5 ↑
		25	20	20	5 ↑
	77	7	6	5	0.2
		6	4	4	0.1
		3	3	2	0.1
	84	50	40	30	5 ↑
		32	30	18	5 ↑
		32	18	17	5 ↑
	96	11	7	6	0.5
		7	6	4	0.1
		5	4	4	0.1
	99	50	40	30	5 ↑
		20	15	11	5 ↑
		17	16	15	5 ↑
	102	13	9	6	1
		10	6	6	0.4
		8	5	4	0.2
	106	16	13	11	2.5
		11	10	9	1.2
		9	6	3	0.2
평균	14	17.5	13.9	10.3	3.6

B-유형(Type)은 전체 106개의 포트홀 중 63개로 숫자가 가장 많은 유형이다. 하지만 퇴적물질이 포함된 포트홀의 개수는 총 9개로 가장 적다. 평균 장경 10.9cm, 중경 8.0cm, 단경 5.7cm, 무게는 약 1kg정도로, A-Type 포트홀 보다 퇴적물의 평균 크기와 무게가 낮게 조사되었다(표 8). 68번 포트홀의 경우 포트홀의 규모가 B-유형(Type) 중에서도 가장 클 뿐만 아니라 무게 5kg 이상 충전

물질이 들어 있는 모습을 보였다. 하지만 나머지 포트홀들의 퇴적 물질은 A-유형(Type)에 비해 상대적으로 크기와 무게가 작은 것으로 조사되었다.

표 8. B-유형(Type) 포트홀내 퇴적물질 채원표

유형	포트홀번호	장경(cm)	중경(cm)	단경(cm)	무게(kg)
B	31	17	14	9	2.4
		15	10	6	1.2
		7	5	3.5	0.2
	32	18	9	6	0.8
		11	7.5	4	0.4
		11	7	3	0.3
	43	16	8	7	1.3
		11	9	3	0.7
		6	5	4	0.15
	53	7	6	5	0.2
		7	5	4	0.16
		5	4	3	0.1
	58	8	6	5	0.4
		7	5	4	0.2
		6	5	4	0.15
	68	40	30	20	5 ↑
		8	6	4	0.3
		4	4	3	0.1
	91	18	12	10	2.5
		10	8	8	0.6
		8	6	5	0.4
92	15	11	10	1.8	
	7	7	6	0.4	
	9	5	5	0.3	
95	12	11	6	0.7	
	6	5	4	0.1	
	5	5	4	0.1	
평균	9	10.9	8.0	5.7	0.96

3. 포트홀의 형태요소별 관련성

1) 포트홀 유형과 하상 경사도와의 관련성

포트홀 유형과 하상 경사도와의 관련성 유무를 파악하기 위하여, 연구지역의 기반암을 아래의 표와 같이 0°~5°, 5°~10°, 10°~20°, 20°~30°, 30°~40°, 40°~50°, 50° 이상으로 7개의 경사도로 나누어 보았다.

전체 106개의 포트홀 가운데 0°~5° 7개, 5°~10° 13개, 10°~20° 32개, 20°~30° 26개, 30°~40° 13개, 40°~50° 9개, 50° 이상 6개로 분류되었다. 타원형의 경우 10°~30° 사이에 주로 분포하고, 경사도가 50° 이상에도 분포하는 것으로 나타났다. 조사 결과, 타원형의 경우는 경사도와 관계없이 고르게 분포하고 있음을 알 수 있다. 원형의 경우도 5°~50°까지 골고루 분포하는 것으로 나타났다. 복합형의 경우에는 5°~40°까지 상대적으로 범위가 좁게 나타났다.

결과적으로 본 연구지역에서는 포트홀 유형과 하상 경사도와의 관련성이 뚜렷한 특징을 보이지 않는 것으로 판단된다.

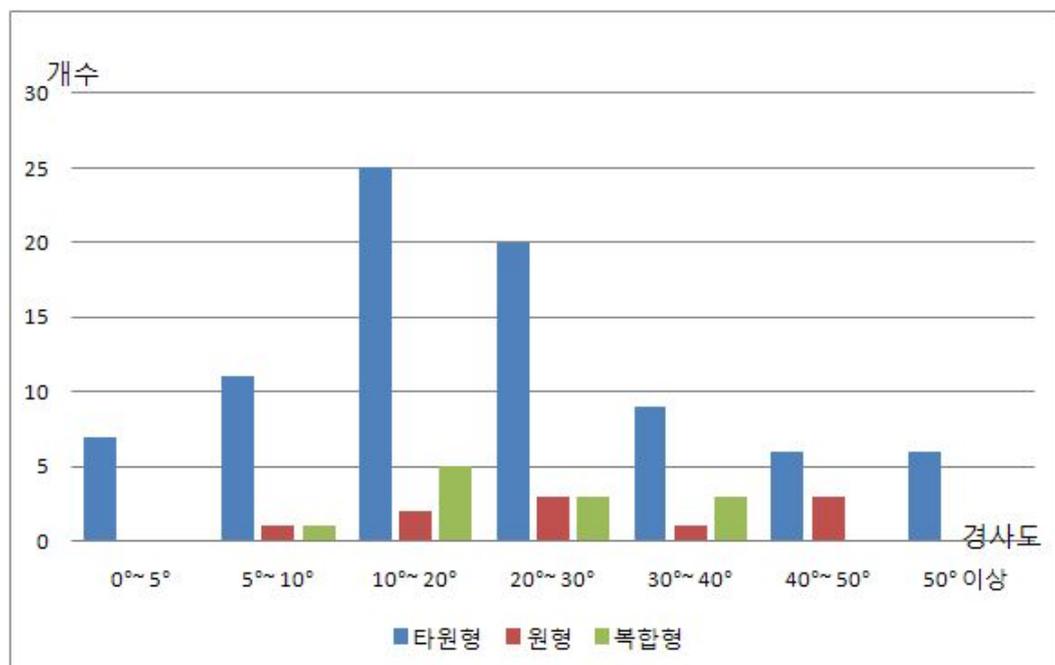


그림 22. 하상 경사도에 따른 포트홀 형태 분포

2) 포트홀 유형과 규모와의 관련성

연구 지역에서 조사된 포트홀은 지름이 7cm~274cm까지 다양하게 분포하고 있다. 아래의 그래프(그림 22)는 평균지름과 깊이에 따라 어떤 형태가 나타나는지를 알기 위하여 x축에는 측정된 장경과 단경의 평균 값을, y축에는 깊이로 설정하여 조사된 106개의 포트홀을 x, y에 대입하여 나타낸 것이다. 원형은 깊이가 60cm까지로 그리고 지름은 20cm~90cm에서 분포하는 것으로 나타난다. 타원형은 깊이 2cm~80cm까지 전체적으로 골고루 분포하고, 지름은 120cm 이내로 나타난다. 복합형은 깊이가 다른 형태보다 작은 40cm 이내이지만, 지름은 40cm~180cm로 가장 크게 나타나고 있다.

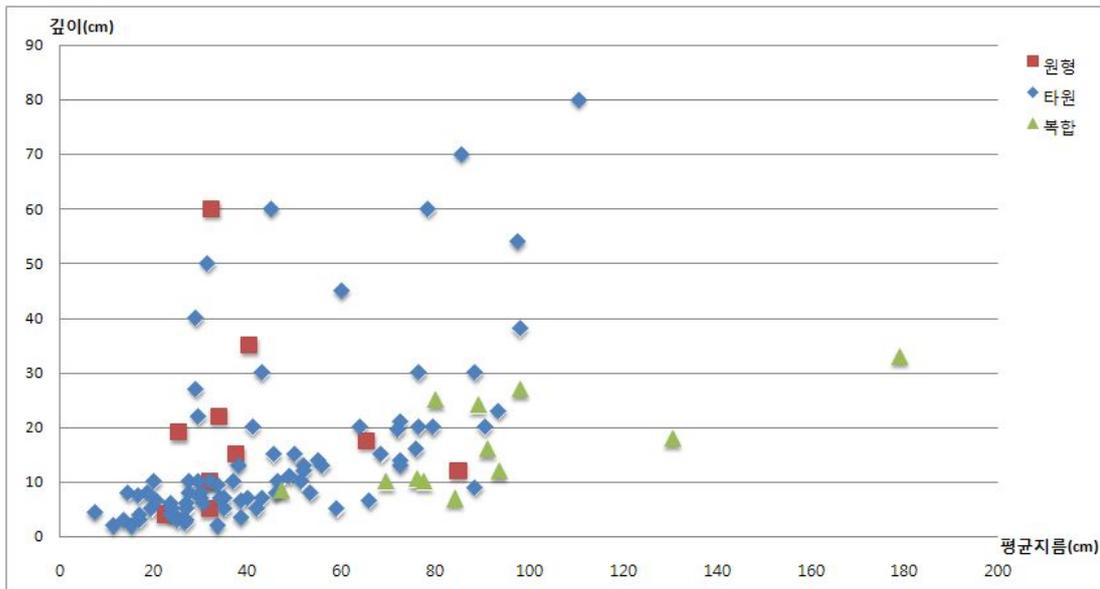


그림 23. 포트홀 유형과 규모와의 관련성

연구 지역에서 조사된 포트홀은 위에서 설명한 바와 같이 각 형태별로 특징적인 크기를 가지고 있다. 이것은 포트홀이 성장하는 형태와 관련이 있을 것으로 생각된다. 초기 포트홀이 형성될 때는 타원형이었다가, 이것이 성장하면서 타원형 또는 원형으로 변화하고, 성장이 더욱 확대되어 2개 이상의 포트홀이 결합되면서 복합형의 형태로 나아갈 것으로 추측된다.

3) 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 깊이와의 관련성

포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 깊이와의 관련성을 알아보기 위해 x축에는 경사도, y축에는 깊이를 설정하여 대입하여 나타내 보았다(그림 24).

원형의 경우에는 대부분 하상 경사도가 커져감에 따라 깊이는 작아지는 경향을 보이고 있고, 타원형의 경우에는 대부분 0°~30°사이의 낮은 경사도에 집중 분포하고 있고, 다양한 깊이를 가지고 있다. 그리고, 다른 포트홀들 보다 상대적으로 깊게 나타난다. 복합형의 경우 상대적으로 포트홀의 깊이도 낮고, 하상 경사도가 5°~40° 사이에 분포하는 것으로 나타났다.

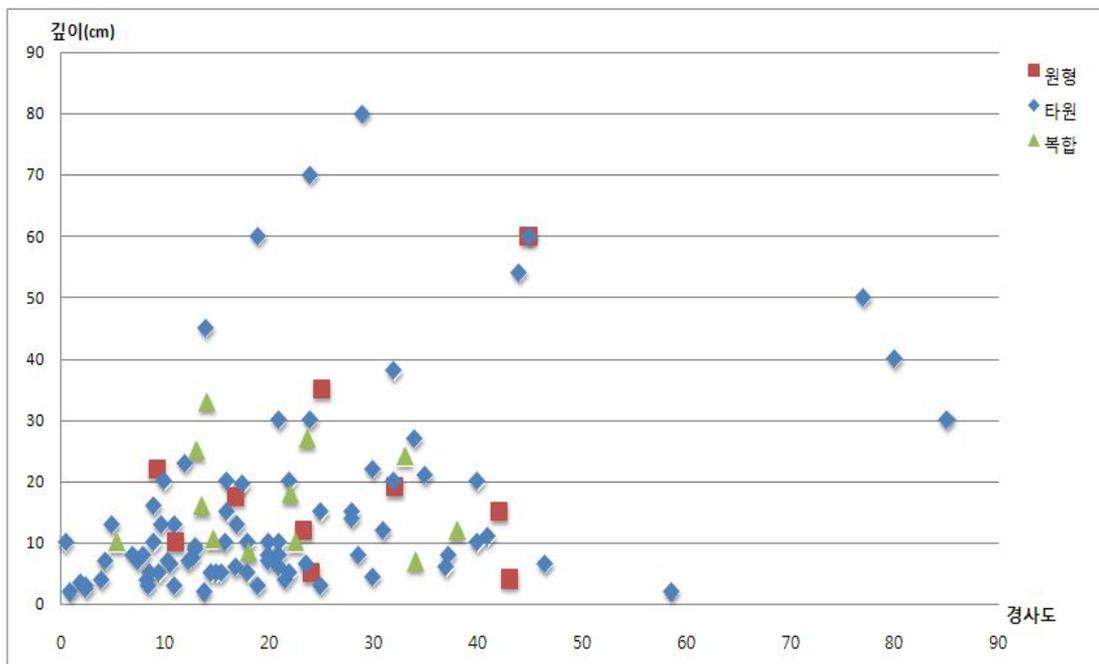


그림 24. 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 깊이와의 관련성

위의 결과에서 뚜렷한 관련성이 나타나지는 않지만, 대체적으로 타원형은 포트홀 발달 초기에 해당되어 깊이가 작고, 낮은 경사도에 집중 분포하는 것으로 보이고, 복합형의 경우에는 다른 포트홀에 비해 상대적으로 낮은 하상 경사에서 깊이가 얇게 나타나는 것으로 추측된다.

4) 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 규모와의 관련성

포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 규모와의 관련성을 알아보기 위해 x축에는 경사도, y축에는 평균지름을 설정하여 대입하여 나타내 보았다(그림 25).

원형은 평균지름이 20cm~90cm에서 분포하는 것으로 나타나고 있다. 타원형은 대부분이 평균지름 20cm~60cm에 분포하고 경사도는 고르게 분포하고 있다. 복합형은 평균지름이 가장 크게 나타나는 경우로 40cm~180cm까지 분포하고 있지만, 경사도는 상대적으로 가장 낮다.

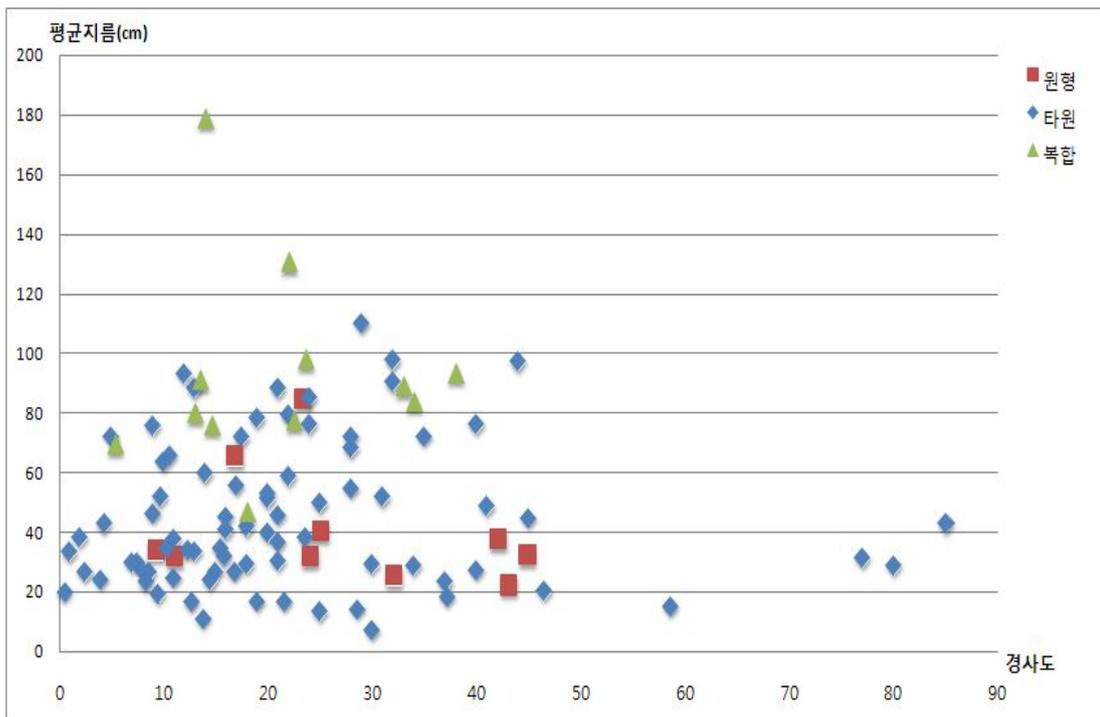


그림 25. 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 규모와의 관련성

위의 결과에서 뚜렷한 관련성이 나타나지는 않지만, 대체적으로 복합형의 경우에는 다른 포트홀에 비해 상대적으로 낮은 하상 경사도에서 큰 규모로 나타나는 것으로 추측된다.

5) 포트홀 유형과 절리와의 관련성

포트홀 유형과 절리와의 관련성을 알아보기 위해 절리를 가지고 있는 A-유형 (Type) 포트홀을 비교·조사하였다(표 5. 참조). 절리를 가지고 있는 포트홀의 총 개수는 43개이고, 절리 개수별 포트홀 유형 분류는 다음과 같다(표 9). 포트홀 유형 분류 결과, 절리 개수가 적을 경우 타원형, 절리가 많을수록 복합형이 나타남을 알 수 있다.

표 9. 절리 개수별 포트홀 유형 분류

절리 개수	유형			총계(%)
	타원형(%)	원형(%)	복합형(%)	
1개	27(93.10)	2(6.90)	0	29(67.44)
2개	8(72.73)	0	3(27.27)	11(25.58)
3개	1(33.33)	0	2(66.67)	3(6.98)
계	36(83.72)	2(4.65)	5(11.63)	43(100)

다음으로 포트홀 유형과 절리 방향의 관련성을 알아보기 위해 절리방향에 따른 포트홀 유형을 분류해 보았다. 절리 개수가 여러 개인 경우에는 절리 방향도 여러 방향으로 나오기 때문에 본 논문에서는 절리 개수가 1개인 포트홀의 절리 방향을 조사하였다. 그리고, 절리 방향의 경우 북쪽 중심의 절리 간격을 0°~15° (하천 유로와 거의 평행한 경우), 15°~45°(중간 경우), 45°~75°(중간 경우), 75°~90°(하천 유로와 거의 직각인 경우)의 4가지로 편의상 구분하였다(표 10. 그림 26)

표 10. 절리방향에 따른 유형 분류

절리 방향	유형			총계
	원형	타원형	복합형	
0°~15°	0	1	0	1
15°~45°	2	11	0	13
45°~75°	0	8	0	8
75°~90°	0	7	0	7
계	2	27	0	29

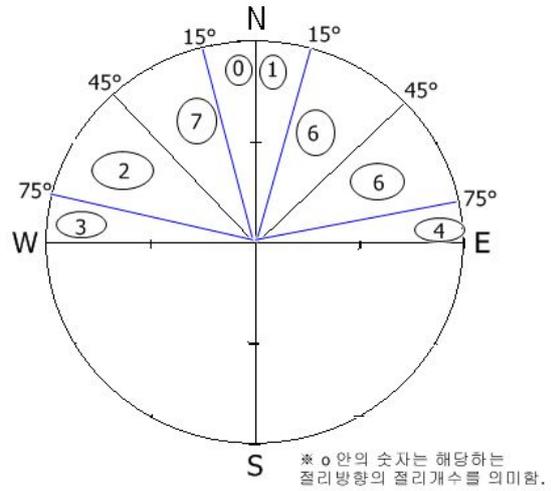


그림 26. 절리방향에 따른 절리 개수

(표 8)에서 절리가 1개인 경우에는 타원형이 가장 많이 나타나고, 절리 방향 15°~45°에서는 원형에 해당하는 포트홀도 2개가 있다는 것을 보여주고 있다. 그리고, (그림 26)에서 하천 유로와 거의 직각인 경우는 7개, 하천 유로와 거의 평행인 경우는 1개, 중간 경우는 21개로 조사되었다. 이 자료를 통하여 절리방향이 하천 유로와 평행한 경우보다 하천 유로와 비스듬하거나 직각에 가까운 경우에서 포트홀이 더욱 발달하는 것으로 추측된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 좁은 지역에 집중적으로 발달한 포트홀을 연구지점인 한천의 하류지역 20m×40m의 지점에서 총 106개의 포트홀 지형 경관을 조사하였다. 그 특성을 분석하여 발견한 주요 연구내용과 결론은 다음과 같다.

첫째, 중앙 주계곡부 18개, 중앙 주계곡부 암반상 46개, 하천 좌안 32개, 하천 우안 10개로 분포하며, 형태별로는 타원형 84개, 원형 10개, 복합형 12개이다. 하천 중앙 주계곡부와 하천 좌안을 중심으로 유수의 흐름이 집중되어 포트홀 집단이 발전하는 것으로 판단된다. 그리고, 형태적으로는 유수의 방향과 일치하는 타원형이 주로 나타나는 것으로 보인다.

둘째, 포트홀 직경은 수cm~270cm가 넘는 것까지 다양한 크기를 보인다. 또한 깊이는 10~20cm 전후의 것이 보통이고, 80cm가 넘는 것도 조사되었다. 전체평균 장경이 65.25cm, 평균 단경이 36.05cm, 평균 깊이 16.05cm, 그리고 평균 원형도가 0.59로 나타났다.

셋째, 포트홀 내 퇴적물질의 직경이 수mm~500mm가 넘는 것까지 다양하고, 무게는 1kg 전후의 것이 보통이며 5kg을 넘는 거력의 퇴적물질들도 조사되었다. 유수의 흐름이 강한 중앙 주계곡부와 암반 양안에 절리가 발달하고 깊이가 깊을 수록 거력의 퇴적물질들이 분포하는 것으로 조사되었다.

넷째, 연구지점 중앙 주계곡부 중앙과 하천 좌안 지역에서 대표적으로 N30°W~N40°W, N30°E~N50°E 방향의 절리들이 발달되어 있다.

다섯째, 포트홀 갯수면에서 절리가 있는 A-유형(Type) 43개 보다 절리가 없는 B-유형(Type) 63개가 많은 것으로 조사된 반면, 규모면에서는 절리가 있는

A-유형(Type)(평균 장경 72.4cm)이 절리가 없는 B-유형(Type)(평균 장경 58.1cm)보다 크게 조사되었다. 또 A-유형(Type)은 타원형 36개, 원형 2개, 복합형 5개로 파악되었고, B-유형(Type)은 타원형 48개, 원형 8개, 복합형 7개로 파악되었다. 이는 절리의 유무와 포트홀 규모는 정(+)의 상관관계를 가지고, 절리의 유무와 포트홀의 수는 부(-)의 상관관계를 가지는 것으로 파악된다.

여섯째, 포트홀 형태와 하상 경사도와와의 관련성에서는 뚜렷한 특징을 보이고 있지 않는 것으로 판단되었다. 포트홀 형태와 규모와의 관련성 조사 결과 초기 포트홀이 형성될 때는 타원형이었다가, 이것이 성장하면서 타원형 또는 원형으로 변화하고, 성장이 더욱 확대되어 2개 이상의 포트홀이 결합되면서 복합형의 형태로 나아갈 것으로 추측된다.

일곱째, 포트홀 유형과 하상 경사도에 따른 깊이와의 관련에서는 대체적으로 타원형은 포트홀 발달 초기에 해당되어 깊이가 얇고, 낮은 하상 경사도에 집중 분포하는 것으로 보이고, 복합형의 경우에는 다른 포트홀에 비해 상대적으로 낮은 하상 경사도에서 깊이가 얇게 나타나는 것으로 추측된다. 포트홀 유형과 경사도에 따른 규모와의 관련에서는 복합형의 경우에는 다른 포트홀에 비해 상대적으로 낮은 하상 경사도에서 큰 규모로 나타나는 것으로 추측된다.

여덟째, 포트홀 유형과 절리와의 관련성은 절리 개수가 적을 경우 타원형, 절리가 많을수록 복합형이 나타남을 알 수 있다. 절리방향이 하천 유로와 거의 평행한 경우보다 하천 유로와 비스듬하거나 직각에 가까운 경우에서 포트홀이 더욱 발달하는 것으로 추측된다.

본 논문은 연구방법과 내용에 있어서 106개 포트홀의 유형별 조사 결과로 관련성을 비교분석할 수 있도록 수치화하여 나타냄으로서 기존의 연구와 차별성이 있다고 판단된다. 또한 한천 포트홀 지형 조사에서 얻어진 본 연구결과는 제주도

하천침식지형 연구에 있어 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 한반도 화강암 분포지대의 하천에 나타난 포트홀과 다른 특징을 가진 제주도의 하천 및 포트홀에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

<단행본>

- 권혁재(2002), 「지형학」 4판, 법문사.
- 김태호(2004), 「한국지리지 : 전라·제주편-제주편」 제2장 제주지방-자연 및 생태 환경, 국토지리정보원.
- 박종관 (2005), 「LET's Go 지리여행」, 지오북.
- 반용부 외(1983), 「자연지리학연구」, 서울대학교재출판사.
- 자연지리학 사전편찬위원회(1998), 「자연지리학사전」, 한울 아카데미.
- 제주도(2004), 「2004 환경백서」, 제주도.
- 제주도·한라산생태문화연구소(2006), 「한라산 총서Ⅷ : 한라산의 하천」, 제주도·한라산생태문화연구소.
- 제주도(2009), 「제주 통계연보 제49호」, 제주도.
- 한국지질자원연구원·제주발전연구원(2003), 「제주도 지질여행」, 제주발전연구원.
- 한라일보사(2001), 「한천 : 제주생명의 원류 하천과 계곡 3」, 한라일보사.

<논 문>

- 권동희(2002) “가평 지역의 지형경관특성과 활용방안”, 지리학연구, 제 36권 제3호.
pp.217-226
- 김미령(2003), “제주도 하천의 하계망 분석”, 제주대학교 교육대학원 지리교육전공 석사학위 논문.
- 김은미·배수경(1987), “가평천 포트홀에 관한 연구”, 상명지리 제5호, pp. 66-83
- 김일중(2002), “단면도 분석을 통한 제주도의 지형 연구”, 동국대학교 지리학과 석사학위 논문.
- 김종연(2004), “기반암 하상 하천에서의 퇴적물 특성 변화에 대한 연구 : 스코틀랜드의 River Etive를 사례로”, 한국지형학회지 제11권 제3호,
pp.47-61.

- 김지영(2006), “폭포의 성인과 발달과정에 따른 유형 분류 : 설악산, 제주도, 한탄강 유역 폭포를 중심으로”, 성신여대 대학원 석사학위논문.
- 김태호(2001), “제주도의 경관생태”, 경관생태학, 한국경관생태연구회, pp. 267.
- _____(2002), “한라산의 지형경관”, 기초과학연구 제15권 제1호, 제주대 기초과학연구소, pp. 18-19.
- 박희두(2002), “화양 계곡에 발달한 하식 미지형”, 사진지리 제12호, pp. 27-56.
- 이호재(1985), “지리산 사면하천의 Pothole에 관한 연구”, 동국대학교 대학원 지리학과 석사학위논문.
- 전영권(2005), “지오투어리즘을 위한 대구 앞산 활용 방안”, 한국지역지리학회지, 제6권 제2호, pp. 517-529.
- 전홍근(2010), “가평천 포트홀군의 지형경관 특성”, 건국대학교 교육대학원 석사학위논문.

< 국외문헌 >

- Alexander, H.S.(1932), "Pothole erosion", Journal of Geology Vol. 40, pp.305-337.
- Barnes, H.L.(1956), "Cavitation as geologic agent", American Journal of Science. vol. 254, pp.493-505.
- Bishop, P. and Goldrick, G.(1992), "Morphology, proceses and evolution of two waterfalls near Cowra, New South Wales", Australian Geographer.,vol. 23, pp.116-121.
- Richardson Keith and Carling, P. Anthony(2005), "A typology of sculpted forms in open bedrock channels", Journal of Geological Society of America. pp. 12-29.
- Strahler, A.N. and Strahler, A.H.(1983), 「Modern Physical Geography」 2ed, John Wiley and Sons. Inc, pp. 256-257.
- Twidale, C. R.(1982), 「Granite landform」, Elsevier.
- Young.(1985), “Waterfalls: form and process”, Zeitschrift fur Geomorphologie, supplement 55, pp. 81-95.

< 기타 자료 >

제주도(1998), 「제주-애월도폭 지질보고서(1:50,000)」, 제주도.
제주도(1999), 제주도 지리정보실 자료.
제주시(2005), 「제주시 - 제주에서 가장 큰 내, 한천」 통권 제47호, 제주시.
한국농촌공사 제주도본부(2006), 「제주도의 지질」, 한국농촌공사.
한국자원연구소(2000), 「제주(백야도,진남포)지질도폭설명서」, 한국자원연구소.
한국지질자원연구소(2000), 「제주-애월도폭 지질도폭설명서(1:50,000)」, 한국
지질자원연구소.

국토포털 <http://www.land.go.kr/>

기상청 관측자료 <http://jeju.kma.go.kr/>

네이버 지식사전 <http://terms.naver.com/>

제주특별자치도 자연환경생태정보시스템 <http://nature.jeju.go.kr/>

한국브리태니커회사 <http://www.britannica.co.kr/>

한국지질자원연구원 지질주제도서비스 <http://gmap.kigam.re.kr/>

한국하천정보시스템 <http://river.kwater.or.kr>

환경부 공간정보서비스 <http://egis.me.go.kr/egis/>

<Abstract>

Geomorphological Characteristics of Hancheon Pothole in Jeju Island

Moon-Hyun Yoon

Geography Education Major
Graduate School of Education, Jeju National University

Supervised by professor Tae-Ho Kim

Different from rivers in the mainland of South Korea, most rivers in Jeju island are ephemeral streams that don't usually flow, the basaltic riverbeds are exposed and the rivers in Jeju island are influenced by geological, topographical and climatic environments. Therefore, with local uniqueness, stages of pothole formation also differentiate themselves from the others in the mainland. The purpose of this study is to investigate stream erosion forms in terms of distribution and the formation of potholes in the Hancheon, one of the main streams in Jeju island.

Many potholes have been formed down stream of the Han and 106 potholes have been investigated. The study divides the potholes by location and distribution and investigates geographical characteristics concerning the major and minor axis, depth, length, form and sediment.

According to the distribution of potholes, 18 potholes are central of the stream, 46 are central of stream base rock, 32 are in the left bank and 10 are the right bank, depending on forms, 84 oval types, 10 circle types, and 12 combining types are investigated. Many joints that are in direction of N30°W~N40°W, N30°E~N50°E are found in the research area. Diameters of the sediments vary from 1 millimeter to 500

* A thesis submitted to the Committee of the Graduate School of Education, Jeju National University in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of education in August, 2012.

millimeters and the average of their weight is 1 kilogram while some of those can weigh over 5 kilograms.

It is investigated that 43 A types which have joints were fewer than the 63 B types which does not have joints, while sizes of A types are bigger than those of B types. Thus, the study found joints are correlated to the number and size of potholes.

The study suggests that form of potholes does not have significant relation with the gradient of stream base rocks. According to the investigation on relation between form and size (diameter and depth) of potholes, it is speculated that potholes grow to oval or circle type and expand size to combine other potholes.

The Oval type of pothole, related with the type of pothole and the depth according to the gradient, which is on the first stage of growth shows shallow depth and distributes at the low slope and the complex type of pothole, in contrast, is supposed to show at the low depth in the relatively low watercourse compared with other potholes.

The complex pothole type, in general, which is compared with pothole type and the size of the gradient is supposed to show big size in the relatively low watercourse compared with other potholes.

When it comes to the relation of pothole type and joint, the less the number of the crack joint is, the more oval type shows up and the more the number of the joint is, the more complex type appears. When, besides, the direction of the joint slants or stands erect, the pothole is inclined to develop well compared with the direction parallels with the watercourse.

By analyzing the relationship of types of potholes in Hancheon, this thesis renders a service to research material regarding stream erosion forms in Jeju island

부 록

※ 유형별 포트홀 특징

1) A-유형(Type) 포트홀 특징

- ① No. 2 : 원형의 포트홀로 절리(N40E)가 상단 끝 부분을 수평으로 통과하며, 장경 70cm, 단경 61cm, 깊이 17.5cm이다.
- ② No. 3 : 복합형의 포트홀로 절리(N60E, N30W, N40W)가 발달하였으며, 장경 90cm, 단경 62cm, 깊이 10.5cm이다.
- ③ No. 4 : 타원형의 포트홀로 절리(N73E)가 서쪽 끝부분을 통과하며, 장경 54cm, 단경 50cm, 깊이 13cm이다.
- ④ No. 7 : 타원형의 포트홀로 절리(N39E)가 서쪽 끝부분을 통과하고 절리(N58E)가 북쪽 끝을 통과한다. 장경 25cm, 단경 15cm, 깊이 10cm이다.
- ⑤ No. 11 : 타원형의 포트홀로 절리(N38E)가 수직으로 통과하며, 장경 58cm, 단경 9cm, 깊이 2cm이다.
- ⑥ No. 14 : 타원형의 포트홀로 절리(N80E)가 서쪽 끝부분을 통과하며, 장경 33cm, 단경 19.5cm, 깊이 3cm이다.
- ⑦ No. 15 : 타원형의 포트홀로 절리(N82W)가 남쪽 가장자리를 통과하며, 이 절리는 14번 포트홀과 연결된다. 장경 10cm, 단경 4.7cm, 깊이 4.5cm이다.
- ⑧ No. 18 : 타원형의 포트홀로 절리(N40W)가 서쪽 끝부분을 통과하며, 장경 100cm, 단경 77cm, 깊이 9cm이다.
- ⑨ No. 19 : 타원형의 포트홀로 절리(N)이 수직으로 통과하고, 절리(N70E)가 수직으로 좌측 끝부분을 통과한다. 장경 36.5cm, 단경 31cm, 깊이 9.5cm이다.
- ⑩ No. 20 : 복합형의 포트홀로 절리(N44E)가 상단 끝, 절리(N62W)가 하단 끝부분으로 발달한다. 장경 274cm, 단경 84 cm, 깊이 33cm이다.
- ⑪ No. 30 : 타원형의 포트홀로 절리(N72W)가 좌측 끝, 절리(N44W)가 우측 끝부분으로 발달한다. 장경 69cm, 단경 41cm, 깊이 14cm이다.

- ⑫ No. 39 : 타원형의 포트홀로 절리(N68W)가 포트홀 중앙으로 수평 통과한다.
장경 23cm, 단경 11cm, 깊이 4cm이다.
- ⑬ No. 40 : 타원형의 포트홀로 절리(N40W)가 포트홀 중앙으로 수평 통과한다.
장경 13cm, 단경 9.5cm, 깊이 2cm이다. 41번 포트홀 방향으로 유수가 흘러 내려가는 위치에 있다.
- ⑭ No. 41 : 유수방향 타원형의 포트홀로 절리(N40W)가 포트홀 중앙으로 수평 통과한다. 장경 22cm, 단경 12cm, 깊이 3cm이다.
- ⑮ No. 44 : 원형의 포트홀로 절리(N32W)가 통과하며, 거력이 포트홀 중앙에 박혀있는 모습이다. 장경 44cm, 단경 37cm, 깊이 (대략)25cm이다.
- ⑯ No. 46 : 타원형의 포트홀로 절리(N72W, N34W, N)가 발달하며, 장경 90cm, 단경 81cm, 깊이 70cm이다.
- ⑰ No. 48 : 복합형의 포트홀로 절리(N, N42W, N60E, N30E)가 발달하며, 장경 70cm, 단경 24cm, 깊이 8.5cm이다.
- ⑱ No. 51 : 타원형의 포트홀로 절리(N12W, N80W)가 발달하며, 장경 89cm, 단경 68cm, 깊이 60cm이다.
- ⑲ No. 57 : 타원형의 포트홀로 절리(N34W)가 우측 끝부분을 통과하며, 장경 72cm, 단경 19cm, 깊이 15cm이다.
- ⑳ No. 60 : 타원형의 포트홀로 절리(N56E)가 수직으로 통과하며, 장경 38cm, 단경 16cm, 깊이 5cm이다.
- ㉑ No. 61 : 타원형의 포트홀로 절리(N30E)가 수직으로 통과하며, 장경 30cm, 단경 17cm, 깊이 6cm이다.
- ㉒ No. 66 : 타원형의 포트홀로 절리(N80E)가 수평으로 통과하며, 장경 32cm, 단경 27cm, 깊이 10cm이다.
- ㉓ No. 69 : 타원형의 포트홀로 절리(N54W)가 통과하며, 장경 34cm, 단경 20cm, 깊이 5cm이다.
- ㉔ No. 70 : 타원형의 포트홀로 절리(N40E)가 수직으로 통과하며, 장경 64cm, 단경 13cm, 깊이 3.5cm이다.

- ②⑤ No. 71 : 타원형의 포트홀로 절리(N80W)가 수평으로 통과하며, 장경 32cm, 단경 22cm, 깊이 3cm이다.
- ②⑥ No. 75 : 타원형의 포트홀로 절리(N52E)가 서쪽 끝부분에 수직으로 통과하며, 장경 110cm, 단경 85cm, 깊이 54cm이다.
- ②⑦ No. 76 : 타원형의 포트홀로 절리(N10E)가 발달하며, 장경 111cm, 단경 34cm, 깊이 13cm이다.
- ②⑧ No. 77 : 타원형의 포트홀로 절리(N10W, N52W)가 발달하며, 장경 38cm, 단경 17cm, 깊이 10cm이다.
- ②⑨ No. 80 : 타원형의 포트홀로 절리(N50E)가 상단부분을 통과하며, 장경 112cm, 단경 41cm, 깊이 20cm이다.
- ③① No. 81 : 타원형의 포트홀로 절리(N78E)가 상단부분을 통과하며, 장경 141cm, 단경 80cm, 깊이 80cm이다.
- ③② No. 82 : 타원형의 포트홀로 절리(N40W)가 하단부분을 수평 통과하며, 장경 58cm, 단경 28cm, 깊이 7cm이다.
- ③③ No. 83 : 타원형의 포트홀로 절리(N26W)가 하단부분을 수평 통과하며, 장경 95cm, 단경 50cm, 깊이 21cm이다.
- ③④ No. 84 : 타원형의 포트홀로 절리(N44E)가 발달하며, 장경 107cm, 단경 89cm, 깊이 38cm이다.
- ③⑤ No. 88 : 타원형의 포트홀로 절리(N40W)가 82번 포트홀과 연결되어 하단부분을 수평 통과하며, 절리(N26W)가 상단부분을 수평 통과한다. 장경 104cm, 단경 33cm, 깊이 15cm이다.
- ③⑥ No. 93 : 타원형의 포트홀로 절리(N32E)가 우측 끝부분에 수직으로 통과하며, 장경 64cm, 단경 48cm, 깊이 13cm이다.
- ③⑦ No. 96 : 타원형의 포트홀로 절리(N40W)가 상단 부분에 수평으로 통과하며, 장경 104cm, 단경 48cm, 깊이 16cm이다.
- ③⑧ No. 97 : 복합형의 포트홀로 절리(N44W)가 96번 포트홀과 연결되어 발달하고, 절리(N62E)가 발달한다. 장경 154cm, 단경 107cm, 깊이

18cm이다.

- ③⑧ No. 99 : 타원형의 포트홀로 절리(N82E)가 우측 끝부분으로 발달하고, 장경 83cm, 단경 70cm, 깊이 30cm이다.
- ③⑨ No. 100 : 복합형의 포트홀로 절리(N82E)가 99번 포트홀과 연결되어 발달하고, 절리(N30E)가 통과한다. 장경 126cm, 단경 42cm, 깊이 7cm이다.
- ④⑩ No. 102 : 타원형의 포트홀로 절리(N30E, N82E)가 발달하며, 장경 66cm, 단경 37cm, 깊이 10cm이다.
- ④⑪ No. 104 : 타원형의 포트홀로 절리(N50E)가 106번 포트홀과 연결되어 발달하며, 장경 65cm, 단경 33cm, 깊이 11cm이다.
- ④⑫ No. 105 : 타원형의 포트홀로 절리(N50E, N56E)가 좌우측에서 수직으로 통과하며, 장경 61cm, 단경 30cm, 깊이 9cm이다.
- ④⑬ No. 106 : 타원형의 포트홀로 절리(N80W)가 발달하며, 장경 40cm, 단경 25cm, 깊이 13cm이다.

2) B-유형(Type) 포트홀 특징

- ① No. 1 : 유수 방향의 타원형 포트홀로 장경 19cm, 단경 10cm, 깊이 8cm이다.
- ② No. 5 : 복합형의 포트홀로 장경 149cm, 단경 33cm, 깊이 16cm이다. 미립질의 충전물질이 쌓여 있다.
- ③ No. 6 : 타원형의 포트홀로 장경 44cm, 단경 26cm, 깊이 5cm이다.
- ④ No. 8 : 타원형의 포트홀로 장경 45cm, 단경 25cm, 깊이 7cm이다.
- ⑤ No. 9 : 타원형의 포트홀로 장경 25cm, 단경 13.5cm, 깊이 6.5cm이다.
- ⑥ No. 10 : 타원형의 포트홀로 장경 56cm, 단경 37cm, 깊이 10cm이다.
- ⑦ No. 12 : 남서방향에서 북동방향으로 유수가 흐른 타원형의 포트홀로 장경 90cm, 단경 42cm, 깊이 6.6cm이다. 모래와 자갈이 쌓여 있다.
- ⑧ No. 13 : 유수방향 타원형의 포트홀로 사면 옆에 형성되어 서쪽으로 기울어진 모습이다. 장경 23cm, 단경 14cm, 깊이 8cm이다.
- ⑨ No. 16 : 인접한 포트홀이 서로 성장하여 연결된 복합형의 포트홀로 장경 136cm, 단경 42cm, 깊이 24cm이다.
- ⑩ No. 17 : 타원형의 포트홀로 더욱 성장하면 인접한 No. 18 포트홀과 차후에 연결될 가능성이 있고, 장경 72cm, 단경 28cm, 깊이 15cm이다.
- ⑪ No. 21 : 유수방향 타원형의 포트홀로 장경 58cm, 단경 34cm, 깊이 8cm이다.
- ⑫ No. 22 : 타원형의 포트홀로 장경 41cm, 단경 7cm, 깊이 5cm이다. 하상과의 고도는 약 40cm, 주변에 식생이 성장하는 것으로 보아서 여름철 집중호우시를 제외하고는 하천과의 접촉이 매우 적을 것으로 판단된다.
- ⑬ No. 23 : 원형의 포트홀로 중앙에 자갈이 쌓여 있고, 주변에 작은 모래 등 미립질의 물질들이 둘러 쌓여 있는 모습이다. 장경 34cm, 단경 30cm, 깊이 5cm이다.
- ⑭ No. 24 : 타원형의 포트홀로 내부에 미립질의 물질이 약간 쌓여 있고, 장경 19.5cm, 단경 14cm, 깊이 7.5cm이다. 포트홀 내부로 들어갈수록

좁아지는 형태이다.

- ⑮ No. 25 : 타원형의 포트홀로 내부에 미립질의 물질이 약간 쌓여 있고, 장경 84.5cm, 단경 59.5cm, 깊이 19.5cm이다.
- ⑯ No. 26 : 인접한 포트홀이 서로 성장하여 연결된 복합형의 포트홀로 장경 105cm, 단경 50cm, 깊이 10cm이다.
- ⑰ No. 27 : 유수방향 타원형의 포트홀로 장경 44cm, 단경 24.5cm, 깊이 7cm이다.
- ⑱ No. 28 : 유수방향으로 긴 타원형의 포트홀로 장경 39.5cm, 단경 14cm, 깊이 2.5cm이다.
- ⑲ No. 29 : 타원형의 포트홀로 장경 108cm, 단경 69cm, 깊이 30cm이다. 하상과의 고도가 약 65cm이고, 주변에 식생이 분포하는 것으로 하천과의 접촉이 많지 않은 것으로 보인다.
- ⑳ No. 31 : 특이하게 사면 옆(동쪽방향)으로 발달한 타원형의 포트홀로 자갈과 세립물질들이 쌓여 있다. 하상과의 고도는 약 85cm이고, 장경 31cm, 단경 27cm, 깊이 27cm이다.
- ㉑ No. 32 : 원형의 포트홀로 미립질이 포트홀 바닥에 깔려 있고, 그 위로 자갈들과 세립질의 물질들이 쌓여 있다. 장경 38.5cm, 단경 37cm, 깊이 15cm이다.
- ㉒ No. 33 : 인접한 포트홀이 서로 성장하여 연결된 복합형의 포트홀로 장경 97cm, 단경 90cm, 깊이 12cm이다.
- ㉓ No. 34 : 사면의 윗부분에 형성된 원형의 포트홀로 하상과의 고도는 약 150cm 이고, 장경 90cm, 단경 80cm, 깊이 12cm이다.
- ㉔ No. 35 : 연구지역에서 관찰된 포트홀 중 가장 상위 사면에 형성된 원형의 포트홀로 장경 37cm, 단경 28cm, 깊이 60cm이다. 포트홀 주변에 이끼가 성장하는 것으로 보아 포트홀 성장이 멈춘 것으로 보인다.
- ㉕ No. 36 : 원형의 포트홀로 장경 23cm, 단경 22cm, 깊이 4cm이다.
- ㉖ No. 37 : 타원형의 포트홀로 장경 20cm, 단경 10.5cm, 깊이 2cm이다.
- ㉗ No. 38 : 서쪽방향으로 성장하고 있는 타원형의 포트홀로 장경 35cm, 단경 25cm, 깊이 7cm이다.
- ㉘ No. 42 : 유수방향 타원형의 포트홀로 장경 25cm, 단경 16cm, 깊이 6.5cm이다.
- ㉙ No. 43 : 타원형의 포트홀로 자갈과 세립질의 물질이 쌓여 있고, 장경 59cm, 단경 45cm, 깊이 12cm이다.
- ㉚ No. 45 : 타원형의 포트홀로 내부로 갈수록 좁아지는 형태이다. No. 46번 포트홀 바로 위쪽 사면에 발달하며, 북동쪽방향으로 파괴된 포트홀로 장경 50cm, 단경 40cm, 깊이 60cm이다.
- ㉛ No. 47 : 유수방향 타원형의 포트홀로 장경 39cm, 단경 22cm, 깊이 6cm이다.

- ③② No. 49 : 우수방향 타원형의 포트홀로 장경 95cm, 단경 64cm, 깊이 20cm이다.
- ③③ No. 50 : 타원형의 포트홀로 내부에 세립질의 물질이 약간 있다. 장경 65cm, 단경 19cm, 깊이 5cm이다.
- ③④ No. 52 : 타원형의 포트홀로 내부에 2개의 역이 있고, 장경 67cm, 단경 53cm, 깊이 45cm이다.
- ③⑤ No. 53 : 원형의 포트홀로 자갈, 세립질, 미립질 물질이 쌓여 있다. 장경 35cm, 단경 29cm, 깊이 10cm이다.
- ③⑥ No. 54 : 타원형의 포트홀로 세립질, 미립질 물질이 쌓여 있다. 장경 43cm, 단경 31cm, 깊이 10cm이다.
- ③⑦ No. 55 : 인접한 포트홀이 서로 성장하여 연결된 복합형의 포트홀로 미립질의 물질이 내부에 쌓여 있다. 장경 110cm, 단경 50cm, 깊이 25cm이다.
- ③⑧ No. 56 : 타원형의 포트홀로 장경 63cm, 단경 19cm, 깊이 20cm이다.
- ③⑨ No. 58 : 타원형의 포트홀로 내부에 자갈과 모래가 약간 있다. 평상시 우수의 흐름이 약간 있는 하상에 위치해 있다. 장경 41cm, 단경 23cm, 깊이 10cm이다.
- ④① No. 59 : 타원형의 포트홀로 내부에 미립질의 물질이 쌓여 있다. 장경 32cm, 단경 23cm, 깊이 8cm이다.
- ④② No. 62 : 우수방향 타원형의 포트홀로 평상시 우수의 흐름이 약간 있는 하상에 위치해 있다. 장경 30cm, 단경 24cm, 깊이 6cm이다.
- ④③ No. 63 : 우수방향 타원형의 포트홀로 장경 17cm, 단경 10cm, 깊이 3cm이다.
- ④④ No. 64 : 우수방향 타원형의 포트홀로 평상시 우수의 흐름이 있는 하상에 위치해 있다. 장경 127cm, 단경 54cm, 깊이 20cm이다.
- ④⑤ No. 65 : 타원형의 포트홀로 내부에 세립질, 미립질의 물질이 쌓여 있다. 장경 40cm, 단경 36cm, 깊이 13cm이다.
- ④⑥ No. 67 : 타원형의 포트홀로 장경 37cm, 단경 23cm, 깊이 8cm이다.
- ④⑦ No. 68 : 인접한 포트홀이 서로 성장하여 연결된 복합형의 포트홀이다. 내부 한가운데 원형의 역이 자리 잡고 세립질, 미립질의 물질들이 바닥에 깔려 있다. 장경 99cm, 단경 40cm, 깊이 10cm이다.
- ④⑧ No. 72 : 타원형의 포트홀로 내부에 원형의 역, 미립질의 물질들이 있다. 장경 87cm, 단경 41cm, 깊이 20cm이다.
- ④⑨ No. 73 : 인접한 포트홀이 서로 성장하여 연결된 복합형의 포트홀로 장경 144cm, 단경 52cm, 깊이 27cm이다.
- ⑤① No. 74 : 타원형의 포트홀로 장경 27cm, 단경 12cm, 깊이 5cm이다.
- ⑤② No. 78 : 타원형의 포트홀로 장경 102cm, 단경 43cm, 깊이 14cm이다.
- ⑤③ No. 79 : 타원형의 포트홀로 내부에 미립질의 물질들이 쌓여 있다. 장경 127cm, 단경 60cm, 깊이 23cm이다.

- ⑤② No. 85 : 특이하게 사면 옆(동쪽방향)으로 발달한 타원형의 포트홀이다. 자갈과 모래들이 약간 쌓여 있다. 하상과의 고도차이는 약 110cm 이다. 내부에 장경 43cm, 단경 20cm, 깊이 50cm이다.
- ⑤③ No. 86 : No. 85 포트홀과 같은 사면 밑에 발달한 타원형의 포트홀이다. 내부에 자갈 여러 개가 쌓여 있다. 하상과의 고도차이는 약 70cm이다. 장경 35cm, 단경 23cm, 깊이 40cm이다.
- ⑤④ No. 87 : No. 86 포트홀 아래쪽으로 발달한 타원형의 포트홀이다. 내부에 퇴적물질은 보이지 않는다. 하상과의 고도차이는 약 30cm이다. 장경 56cm, 단경 30cm, 깊이 30cm이다.
- ⑤⑤ No. 89 : 타원형의 포트홀로 내부에 세립질, 미립질의 물질이 쌓여 있다. 장경 28cm, 단경 21cm, 깊이 4cm이다.
- ⑤⑥ No. 90 : 타원형의 포트홀로 장경 30cm, 단경 17cm, 깊이 4cm이다.
- ⑤⑦ No. 91 : 원형의 포트홀로 내부에 역, 자갈 등이 쌓여 있다. 하상과의 고도는 장경 27cm, 단경 24cm, 깊이 19cm이다.
- ⑤⑧ No. 92 : 타원형의 포트홀로 내부에 역, 자갈, 세립질, 미립질의 물질이 쌓여 있다. 장경 50cm, 단경 30cm, 깊이 7cm이다.
- ⑤⑨ No. 94 : 타원형의 긴 포트홀로 내부에 세립질, 미립질의 물질이 쌓여 있다. 장경 67cm, 단경 30cm, 깊이 8cm이다.
- ⑥⑩ No. 95 : 우수방향 타원형의 포트홀로 내부에 역, 자갈, 세립질, 미립질의 물질이 쌓여 있다. 장경 95cm, 단경 23cm, 깊이 5cm이다.
- ⑥① No. 98 : 타원형의 포트홀로 장경 35cm, 단경 15cm, 깊이 3cm이다.
- ⑥② No. 101 : 타원형의 포트홀로 장경 36cm, 단경 23cm, 깊이 22cm이다.
- ⑥③ No. 103 : 원형의 포트홀로 내부에 자갈과 세립질, 미립질의 물질이 쌓여 있다. 장경 34cm, 단경 34cm, 깊이 22cm이다.