

海岸地帶 地下水資源 調査를 위한 航空遠隔探査

李 泰 燮*

1. 序 言

遠隔探査技術에 의한 여러 應用分野中 地下水資源探査에의 응용은 지하수를 直接的으로 탐지할 수 있는 정보를 획득하는 것이 아니고 지하수 부족과 관련될 수 있는 地質構造(例, 斷層, 線構造線 등)情報와 植生, 地表面 溫度, 地表水分布, 地質分布 등의 間接的인 정보를 얻는 것이다. 단층과 선구조선은 지하수의 좋은 通路가 될 수 있으며 이들의 交叉點은 지하수 개발의 좋은 目標가 될 수 있다. 지하수 탐사에 주로 활용되는 電磁波 波長帶는 soil moisture, fracture 判讀에 効果적인 近赤外線, 熱赤外線 및 레이더(radar) 등이다.

원격탐사자료를 이용한 지하수탐사 事例는 아주 많으나 여기서 사례 2가지를 들면 다음과 같다. 첫번째 사례로서 沙漠地帶에 있어서 地下淺部の 舊河川 流路는 지하수 개발의 중요한 대상이 되는데 이러한 예로써 미국의 Space shuttle에서 얻은 사하라 사막의 레이더 畫像資料에서 지하 6m 하부의 구하천 유로를 발견함으로써 사막지역에서의 지하수 개발에 큰 성과를 거두었다. 두번째 사례는 1968년 6월부터 1969년 6월까지 미국 하와이주 自然資源局과 內務省 傘下 水資源室이 共同으로 主管하여 하와이 群島에서 지하수조사를 위해 실시된 여러가지 物理探査 방법중 海岸線을 따라 赤外線 派長帶를 이용하여 湧出水를 탐지하고자 대규모의 航空원격탐사가 시도된 것이다.

本稿에서는 우선 원격탐사의 概要와 韓國投資研究所에 도입된 航空多重分光走射 시스템에 대한 제원 및 이를 이용한 자료획득 및 자료처리 결과등을 살펴 보고 끝으로 미국 하와이 群島에서의 사례와 같이 航空遠隔探査를 이용하여 濟州道 海岸地帶에서의 未知의 海底 湧出水의 조사 가능성을 제시하고자 한다.

本稿는 한국자원연구소에서 科學技術處의 特定研究機關社業의 일환으로 수행한 “항공다중분광주 사법에 의한 환경감시기술연구(I)” 내용의 일부가 포함되어 있음을 밝혀둔다.

* 한국자원연구소 응용지구물리실장

2. 航空遠隔探查란?

2-1. 概 要

遠隔探查(Remote Sensing)라 하면 廣義로는 측정하고자 하는 물체와 직접적인 접촉이 없이 그 물체에 대한 정보를 蒐集하는 것으로 정의되며 보통 비행기나 인공위성을 측정 platform으로 이용한다. 특히 대상 물체의 특성을 감지하거나 측정하는 수단으로 電磁波에너지(electromagnetic energy)를 이용하는 방법으로 국한시킬 수 있다. 따라서 航空磁力探查나 航空電磁探查는 원격탐사라 稱하기 보다는 航空物理探查로 불리운다.

원격탐사 시스템은 passive system과 active system으로 나눌 수 있는데, passive system은 物體로부터 自然的으로 放射/反射되는 에너지를 기록하는 시스템으로 電磁波 스펙트랄 범위가 紫外線(UV : Ultra Violet)부터 熱赤外線영역(Termal Infrared)이고, active system은 자체적으로 에너지원을 發生시켜 물체로부터 되돌아오는 에너지를 기록하는 시스템으로 레이더(radar) 밴드가 여기에 속한다. 마이크로레이더(micro radar) 밴드는 兩시스템에서 이용된다.

遠隔探查는 미국 항공우주국(NASA)에서 1972년에 地球資源探查用 인공위성 LANSAT-1 호를 발사한 이래로 현재 地球資源, 環境, 土木, 天文氣象 분야등 광범위한 분야에 이용되고 있으며 점차 그 응용분야를 넓혀가고 있다. 한편 국제적으로 원격탐사자료의 활용에 대한 연구가 활발해짐에 따라 더 좋은 解像力을 가진 센서에 대한 필요성이 增大되고 이에 따라 SPOT 위성등 高解像力을 갖는 센서를 搭載한 인공위성이 계속 개발되고 있다. 이와 동시에 비행기를 이용하는 원격탐사에 대한 理論 및 器機에 대한 연구도 활발히 진행되어 각종 응용분야에 이미 많은 활용이 이루어지고 있다.

항공원격탐사는 인공위성 대신에 비행기에 스테너를 搭載하여 자료를 획득한다는 점 이외에는 인공위성을 이용한 원격탐사와 대동소이하다. 하지만 經路와 高度 및 스펙트랄 밴드가 固定되어 있는 인공위성을 이용한 원격탐사와는 달리 비행기를 이용한 원격탐사법은 그 飛行經路, 高度, 飛行地域 및 자료채널 선정 등을 필요에 따라 수시로 달리하므로 자료의 처리와 해석법 역시 그에 따라 달라질 수 있다.

비행기를 이용한 원격탐사기술은 인공위성에 의한 원격탐사기술 보다 자료의 空間 解像力(spatial resolution)이 월등할 뿐만 아니라 수시로 필요할 때 언제든지 측정이 가능하므로 자료의 時宜性,

調査目的에 따른 다양한 適用性등의 많은 장점을 가지고 있어 최근에는 선진국뿐만 아니라 중국, 태국등과 같은 개발도상국들도 본 기술을 널리 활용하고 있다. 특히 우리나라와 같이 地形構造가 복잡하고 土地利用單位가 작고 또한 여러가지 地表被覆物이 混在되어 있어 소규모의 정밀한 조사가 필요한 경우 그 활용도가 더욱 크다고 할 수 있다. 韓國投資研究所는 1991년도 말에 이러한 다양한 활용도를 충족시킬 수 있는 航空多重分光走射 시스템(AMS : Airborne Multispectral Scanner System)을 도입하였다.

2-2. 航空多重分光走射시스템

비행기용 다중분광 스캐너는 일반적으로 Fig. 1에 나타난 것과 같은 光學的 구조를 가지고 있다. 한국자원연구소에 도입된 항공다중분광주사 시스템은 미국 Deadalus Enterprises, Inc의 모델 AA3600로서 그 기기 특성을 Table 1에 스펙트랄 밴드를 Table 2에 나타냈다.

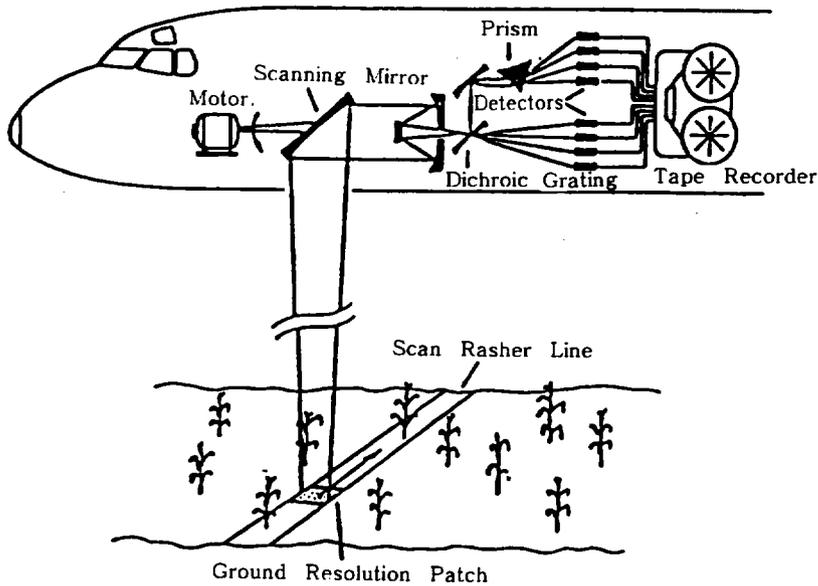


Fig. 1. Airborne multispectral scanning system.

Table 1. Technical specification of AMS system.

Total Optical Field of View	95°
Digitized Field of View (FOV)	86°
Optical Ports	Two, with encoded detector identification, interchangeable dichroic beamsplitter
Scan Rate	100, 50, 25, 12.5, 6.25 Scans per second, Operator selectable
Velocity to Height Ratio (V/H)	0.25 radians per second @100 scans/sec
Aircraft Roll Correction	Corrected up to ±15°
Reference Source	Two controllable field filling blackbody
Digitization Accuracy	8 bit, 12 bit
Data Recorder	8 mm Cartridge, 2.2 Gbyte Capacity
Data Recording Limits	12 bit : 2 CH @100 s/s 4 Ch @ 50 s/s 6 CH @ 25-6.25 s/s 8 bit : 3 CH @100 s/s 6 Ch @ 50-6.25 s/s
Recording Time at 100 s/s	2.2 hours
Sampling Rate	2.08 mrad
Video Gain Levels	256, operator selectable
Video Offset Levels	256, operator selectable

Table 2. Spectral range of each band (vs. MSS and TM).

Table 2.1.2. Spectral range of each band (vs. MSS)

BAND (μm)	AMS CH.	TM CH.	MSS CH.
0.42-0.45	1		
0.45-0.52	2	1	4 (0.5-0.6)
0.52-0.60	3	2	5 (0.6-0.7)
0.60-0.62	4		
0.63-0.69	5	3	6 (0.7-0.8)
0.69-0.75	6	6	
0.76-0.90	7	4	7 (0.8-1.1)
0.91-1.05	8		
3.00-5.50	9		
8.00-14.0	10	6	
Ground Resolution (Meter)	Depend on Flight Altitude	120×120 (Band 6) 30×30 (Others)	80×80 (Band 7) 76×76 (4-6)

** AMS : Airborne Multispectral Scanner
MSS : Landsat Multispectral Scanner System
TM : Landsat Thematic Mapper

지상에서 反射/放射되는 電磁派에너지는 回轉하는 스캐닝미러(scanning mirror)에 의해 1차 반사되어 拋物鏡(parabolic mirror)에 의해 센서에 集점이 모아진다. 파라볼릭 미러와 센서 사이에는 다이크로익 필터(dichroic filter)가 있어서 入射하는 에너지를 可視光領域과 熱赤外領域의 에너지로 일차 分光하며 분광된 에너지는 필터와 프리즘에 의하여 각각의 스펙트랄 밴드에 해당하는 波長帶別로 2차 분광되어 각각의 디텍터에 도달하게 된다.

이상과 같이 본시스템은 入射하는 放射에너지를 分光하여 파장대별로 電氣的 에너지로 變換하는 스캐헤드(Scan Head), 변환된 전기적 에너지를 디지털 값으로 변환하는 디지털라이저(Digitizer), 변환된 디지털 자료를 보여주고 기록하는 레코더/모니터 및 각 부분에 적절한 電源을 공급하는 파워 디스트리뷰터(Power Distributer)의 4개의 장치로 구성되어 있다. 이 외에도 비행기의 不規則的인 움직임(Yaw, Pitch, Roll)에 의한 자료의 幾何學的 歪曲을 최소화하기 위한 장비로서 비행기의 움직임을 감지하여 스캐헤드의 不規則한 움직임을 막는 스테빌라이즈드 마운트(Stabilized Mount)가 있다.

2-3. 資料獲得

실제 자료를 얻기 위한 비행에 들어가기에 앞서 事前에 자료획득의 목적에 따라 飛行條件과 資料獲得變數를 설정하여야 한다. 얼마만한 精度의 지상 空間解像力(Ground spatial resolution)을 얻고자 하는가에 따라서 비행기의 속도와 비행고도를 결정하고 이에 따라 scan rate가 결정되며 스펙트랄 밴드 選定은 탐사의 목적에 따라 결정된다. 또한 熱赤外領域 자료를 얻기 위해서는 탐사지역의 예상 최저온도와 최고온도를 예측하여 두개의 Thermar Reference Sources (BB1, BB2)의 온도를 적절히 선정하여야 한다. 또한 Noise를 줄이기 위해서는 두개의 黑體(BB1, BB2)에 液體窒素를 채워넣어야 한다. 본 장비를 이용하여 자료를 획득한 비행조건과 자료획득조건을 Table 3. 에 예로서 나타냈다.

야외자료를 얻기 위해서 사용된 비행기는 固定翼비행기로서 COMMANDER 6902(Gulf Stream Aeor Space사 제작) 6인승 쌍발기이며 航空寫眞 촬영을 위하여 運用이 되고 있었다. 현재까지 전세계적으로 항공원격탐사자료 획득에는 platform의 舉動을 최소화하기 위해서 헬리콥터를 거의 사용하지 않고 대부분 고정익비행기를 사용하고 있다.

본 시스템은 可用 10개 밴드중 최대 6개의 밴드의 同時記錄이 가능하므로 응용분야별로 원하는 정보의 종류에 따라 Table 4에서와 같이 적절한 밴드를 設定해야 한다. 본 시스템에서 얻어지는 자료는 8xx 디지털 카트리지 테이프에 기록된다.

Table 3. Data acquisition parameters settings for study areas.

AREA	BAND	SCAN RATE	BB1	BB2	HEIGHT	BELOCITY
		(Scans/sec)	Temp.	Temp.	(Feet)	(Knot)
Paldang	1, 2, 3, 7, 8, 10	12.5	5°C	20°C	8000	140
Youngkwang	1, 3, 7, 8, 9, 10	12.5	3°C	20°C	8000	140
Masan	1, 2, 3, 7, 8, 10	25.0	5°C	20°C	4000	140
Daejeon	2, 3, 5, 7, 9, 10	25.0	5°C	20°C	4000	140
Kwangreung	2, 3, 4, 4, 7, 8	25.0	-	-	4000	140
Date of Data Acquisition : 1992. 3. 17. -1992. 3. 27.						

Table 4. Spectral bands and applications.

APPLICATION	AMS BAND										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	UV
Geologic Mapping		X	X		X		X	X	X		
Water Chlorophyll	X		X					X		X	
Water Suspended Sediment			X				X			X	
Water Temperature							X			X	
Forst Inventory		X	X	X	X		X	X			
Crop Vigor Studies		X	X		X		X			X	
Fire Detection/Mapping									X	X	
Oil Spill Detection									X	X	X

2-4. 資料處理

원격탐사는 그 資料量이 매우 龐大하므로 高密度磁氣 테이프(HDDT)에 주로 기록되고 이를 CCT (Computer Compatible Tape) 테이프로 변환하여 대형컴퓨터를 이용하여 처리 및 분석하여 왔으나 최근에는 電子産業의 급속한 발달로 강력한 워크스테이션이나 개인용 컴퓨터를 상용하는 趨勢이

며 각종 자료처리용 소프트웨어들도 이들을 기준으로 하여 개발되고 있다. 또한 이들간에는 매우 간단하게 자료를 주고 받을 수 있다. 한국자원연구소의 항공원격탐사연구에서는 EXABYTE 테이프 드라이버를 SCSI Interface를 이용하여 386개인용 컴퓨터에 연결시켜 자료를 읽어들이고 원하는出力형식으로 개인용 컴퓨터의 디스크에 화일로서 저장한다.

항공원격탐사는 인공위성 원격탐사에 비하여 자료처리시 고려하여야 할 점이 많다. Table 1에서와 같이 본 장비의 視野角(FOV : Field Of View)은 거의 90°에 가까우므로 비행고도의 약 2배에 달하는 폭의 정보를 수집하게 되나 비행기 直下部를 스캔할 때와 맨 가장자리를 스캔할 경우와는 거리 증가에 의한 大氣吸收 効果에 의한 信號 弱化和 더불어 地上解像力도 변화하게 된다. 왜냐하면 스캔은 비행고도를 半徑으로 圓周를 그리게 되나 地面은 平坦하기 때문이며 특히 직하부와 맨 가장자리와의 Pixel 크기가 달라지게 된다. 이러한 幾何學的 歪曲은 45°의 角을 이루는 直線形의 對象體(例, 道路)에서 눈에 띄이게 나타나며 직선을 이루는 도로가 "S"字形의 影像으로 나타나게 된다. 따라서 항공원격탐사 자료처리시에는 인공위성 자료처리시와는 달리 前處理過程(preprocessing), 특히 幾何學的 補正(Geometric Correction)이나 放射補正(Radiometric Correction) 등에 주의를 요하여야만 한다.

Fig. 2는 Table 3의 靈光原子力發電所 연안지역의 밴드 10(열적외선영역) 자료를 溫度로 변환시켜 작성한 칼라도면으로서 발전소에서 바다로 排水되는 溫水의 온도분포 및 海流學動을 알 수 있다. 이 도면을 이용하면 排出口로부터 얼마만한 거리까지 온수의 영향이 미치는지를 알 수 있으며 이로부터 水産養殖場에 미치는 영향도 파악될 수 있다. 또한 排出된 溫水의 取水口로의 再循環 與否도 탐지할 수 있다. Fig. 3은 馬山灣 일부의 海水 온도분포를 나타낸 것으로 灣으로 흘러들어가는 河川의 수온이 灣의 해수 온도보다 약 4-5도 높음을 보여주나 이들 수온은 水深과 밀접한 관계가 있으므로 thermal pollution 인자를 결정하기 위해서는 최종적으로 현장확인이 필요하다.

여기서 附言할 점은 熱赤外線 밴드를 이용하여 얻어진 이들 溫度分布圖는 海水의 表面溫度分布를 나타낸다. 또한 이들 값은 실제 현장에서 온도계에 의하여 측정된 實測値와 거의 같다고 보고되고는 있으나 이들 溫度分布圖를 實測値化하기 위해서는 探查飛行時刻과 同一時刻에 地上(海上)의 몇개 測點에서 온도를 측정하고 이를 이용하여 전체 온도분포도를 補正할 수 있다.

3. 濟州道에서의 적용 가능성

3-1. 濟州道 水資源 概要

濟州道는 年間 降雨量이 국내 최대인 1900mm(해안변 평균 : 1600mm)에 달하는 多雨地域이지만

대부분 火山岩으로 되어 있는 地質的 특성과 切離層 통하여 대부분이 지하로 침투하여 河川은 乾川을 이루고 있다.

제주도 水資源의 産狀을 대별하면 地表水, 湧出水 및 地下水가 있다. 제주도 지하수장기개발계획 조사보고서(1989, 農業振興公社)에 의하면 1988년 1년간 도내에 공급된 수자원별 이용실태는 지표수 3.3%, 용출수 41.3%, 지하수 55.5%로 보고되고 있다. 지표수의 대부분은 降雨에 의한 것이나 降雨가 끝남과 거의 동시에 거의 건천을 이루고 있어 엄격한 의미로는 지표수가 없다고 할 수 있다. 本道의 용출수는 일종의 지하수로서 두가지 형태가 있는데, 그 하나는 降水가 지하하부로 내려가다가 不透水層을 만나 지표로 수면 나오는 高地帶에서의 上位湧出水(perched spring)로서 어승생 영실 등 山岳地帶 및 해발 700m이상의 고지대에서 일부 용출되고 또 다른 하나는 지하하부로 침투한 지하수가 水理地質學的 勾配를 따라 해안변으로 流動하여 해수면과 접하게 되어 용출하는 基底湧出水(basal spring)로서 本道 海岸線 전역에 걸쳐 散在하며 용출수의 대부분을 차지한다. 또한 定量的인 推算은 불가하나 신촌, 삼양등지의 海底湧出도 일부 알려져 있다. 지하수는 上位地下水와 基底地下水가 있는데 제주도 지하수의 대부분은 기저지하수로서 道 全域에 광범위하게 분포하며 地下水位 변동도 아주 작다. 기저지하수는 지하하부로 유입된 降水와 바닷물과의 比重差로 淡水體가 바닷물 상부에 렌즈상으로 떠 있는 상태의 지하수를 말하며 이는 Ghyben-Herzberg 원리로 설명되고 있다.

현재 본 도에는 약 2000 여개소 이상의 地下水 開發孔이 있으나 用水 需要의 급격한 증가로 인해 계속적인 지하수탐사 및 개발이 요청되고 있다.

3-2. 海底湧出水 調査를 위한 航空遠隔探查 適用

앞절에서 說明하였듯이 지하수와 용출수가 차지하는 비율은 전체 用水量의 90% 이상으로서 용출수도 일종의 지하수로 간주할 때 거의 대부분을 지하수에 의존하고 있다고 말할 수 있다. 따라서 대규모의 새로운 용출수원 발견도 본도의 지하수 개발에 일익을 담당하게 된다. 또한 해안변 가까이에서의 기저지하수의 過多開發은 海水侵入을 誘發하게 되어 지하수원의 汚染을 加重시키기 때문에 이들 天然의 海底湧出水 資源의 개발이 필요하다고 생각된다.

제주도에서의 지하수탐사의 관건은 지하수의 流動經路를 제공하는 地質構造(균열, 용암터널, 절리 등)를 찾는 것이라 할 수 있다. 이들 지질구조를 밝혀내는 방법으로는 地質調査, 物理探查, 試錐探查 등이 있으며 1970년대 초 이래로 현재까지 國立地質調査所(現, 韓國資源研究所), 農業振興公社(現, 農漁村振興公社)에 의하여 제주도 지하수 탐사에 본격적으로 투입되어 그동안 제주도 지하수 개발에 寄與한 바가 至大하다. 또한 최근에는 해안지역에 散在된 기존의 地下水管井에의

海水投入에 의한 汚染상태 파악에도 이들 科學的인 物理探査 방법이 동원되고 있다.

本稿에서는 上記 탐사방법 이외에 序言에서 밝혔듯이 美國 하와이 群島에서와 같이 항공원격탐사를 적용하여 해안선주위(특히 육상에서 멀지않은 바닷속)에 있을지도 모르는 未知의 大規模 湧出水を 밝혀냄으로서 用水問題를 해결하는 방법을 제시하고자 한다. 이는 바닷물과 용출수의 사이에는 溫度差異가 있다는 점에서 근거한다.

이를 위하여 一次的으로 항공원격탐사에 의하여 제주도 海岸周邊을 탐사하여 얻어진 열적외선 자료를 畫像處理하여 海水表面度(SST: sea surface temperature) 分布圖를 작성하고 熱異常(thermal anomaly) 지점을 분류해 내고 이를 現場確認(ground truth, sea truth)한다. 미국 하와이의 例에서도 자료처리 결과 나타난 모든 熱異常들이 淡水體와 모두 직접적 관련이 있다고는 밝혀지지 않았기 때문에 現場확인은 꼭 필요하다.

비행고도를 1km로 유지하면 약 2.5m의 地上 空間分解能을 얻을 수 있으며 총 21개 축선의 총 연장 280L-km으로 제주도 해안을 한바퀴 탐사할 수 있다. 탐사비행은 太陽熱에 의한 영향을 최소화하기 위하여 해뜨기 전에 하거나 부득이 며칠에 걸쳐 자료를 획득하여야 할 경우에는 同一時間帶에 걸쳐 비행하여야 한다. 또한 西海岸에 비해 湖水의 干滿差가 심하지는 않더라도 가능하면 干潮時에 비행하여 자료를 획득하여야 할 것이다.

여기서 附記하여야 할 점은 항공원격탐사에 의해 導出된 熱異常지점들에 대해서는 現場확인 뿐만 아니라 한국자원연구소에 의하여 얻어진 既存의 航空磁力探査資料와 其他 지하수 관련자료를 取合하여 해석하면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

상기 항공원격탐사에 의하여 새로운 해저용출수가 밝혀진 경우 해안선에서 가장 가깝고 용출량이 많은 지점을 일차 대상으로 하여 海洋構造物을 설치하여 이들로부터 직접적인 淡水의 採水가 가능한가의 與否를 결정하고, 만약 不可할 경우는 이들 지역의 해안선과 평행한 축선을 설정하고 集中的으로 地上物理探査를 실시하여 용출수의 지하통로를 파악해야 할 것이다.

이를 요약 정리하면 다음과 같다.

1단계탐사: 濟州道 全海岸에 대한 航空遠隔探査

- 가. 參考文獻 및 成功事例 蒐集(예. 하와이 지하수 개발).
- 나. 항공다중분광주사법에 의한 資料 獲得 및 畫像處理
- 다. 畫像處理結果 밝혀진 悅異常(thermal anomaly) 지점에 대한 現場 確認調查.
- 라. 海洋構造物의 設置에 의한 직접적인 採水 가능성 여부 판단
- 마. 직접적인 採水가 불가능할 경우 2단계 지상물리탐사를 위한 tartet area 選定.

2단계탐사: 地上物理探査

- 가. 지상물리탐사(最適의 物理探査法) 計劃수립.

- 나. 현장탐사 및 자료처리
- 다. 자료해석에 의한 예상 湧出水 地下 通路 導出.
- 라. 試錐孔 位置 選定

4. 結 言

本稿에서는 미국 하와이 群島에서의 지하수탐사 事例에서와 같이 航空遠隔探查의 悅赤外線 波長帶를 이용하여 제주도의 해안지대에서도 지하수자원 조사법의 하나로 適用될 수 있다는 可能性을 提示하였다. 이를 위하여 韓國資源研究所에 도입된 항공원격탐사장비의 製元 및 이를 이용한 자료 획득 및 자료처리 예를 살펴보았다.

본고에 例題로 인용된 靈光原子力發電所의 항공원격탐사자료로부터 추출된 해수표면온도분포도를 살펴보면 해수의 배경온도와 배수되는 온수의차가 9도 이상되어 열이상지역을 쉽사리 判別해낼 수 있으나, 본 방법을 제주도 해안지대 탐사에 적용할 경우 탐사비행 수행전에 海저용출수와 해수의 온도차이가 구체적으로 季節別, 水深別로 얼마만한 차이가 나는지 既存의 海저용출 지점에서 현장 확인할 필요가 있다.

끝으로 本稿를 부탁하여 주시고 제주도 지하수탐사에 심혈을 기울이고 계신 農漁村振興公社 濟州道支社 農漁村開發部 秦成元 部長께 감사드리며 海底湧出水 關聯 文獻 및 資料 提供과 討議에 응해주신 한국자원연구소 趙震東 博士께 감사드린다.

一般參考文獻

- 「항공다중분광주사법에 의한 환경감시기술연구(I)」, 1992, 과학기술처 특정연구개발사업보고서, 한국자원연구소, 이태섭, 구자학, 김광은, 최종호, 지광훈, 박인화
- 「제주도 수자원의 환경학적 조사연구」, 1989, 과학기술처 기본사업연구보고서, 한국자원연구소, KR-90-(B)-4, 최순학, 조진동, 김연기
- 「제주도 수자원의 특성과 수질오염연구(II)」, 1990, 과학기술처 기본사업연구보고서, 한국자원연구소, 김성수, 최순학, 김연기
- 「제주도 지하수 개발을 위한 물리탐사 기술연구」, 1992, 한국과학재단 목적기초연구 사업보고서, KOSEF 89-06-16-04, 권병두, 이기화, 서정희
- 「제주도 지하수 장기개발계획 조사보고서」, 1989, 농림수산부 제주도 농업진흥공사
- A HYDROGEOLOGICAL SURVEY FROM KAWAIHAE TO KAILUA-KONA, HAWAII, 1969, W. M. Adams and C. Warren, Hawaii Univ., Honolulu, Water Resources Research Center



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
Temperature (Celsius)

Fig. 2. Surface sea temperature map of Youngkwange power plant(band 10).



2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
 Temperature (deg C)

Fig. 3. Surface sea temperature of Masan Bay (band 10).