

고해상도 첩보위성을 이용한 수도권 확장 분석

손흥규* · 유복모** · 김기홍*** · 김기태****

*연세대학교 공과대학 사회환경건축공학부 토목전공 조교수

**연세대학교 공과대학 사회환경건축공학부 토목전공 명예교수, 석곡관측과학연구원 연구소장

***연세대학교 공과대학 사회환경건축공학부 토목전공 박사과정

****Ohio State University Geodetic Science Graduate Program 박사과정

1. 요 지

지난 수십년간 대한민국은 고도의 경제성장을 하였다. 수도 서울은 인구 증가, 농지의 감소, 도로 및 사회기반시설물의 건설, 하천정비 등의 과정을 거치면서 빠르게 도시화가 진행되었다. 이렇게 많은 변화가 일어난 서울 지역을 모니터링하고 분석하기 위한 시도는 여러 차례 있었으며 대표적인 예로 LANDSAT 영상을 이용한 도시화 분석이 환경부(2001, 8, 7)를 통해 발표되었다. 본 논문에서는 과거 미국의 고해상도 첩보위성 프로젝트인 CORONA 영상을 이용하여 지금으로부터 30여년 전의 서울의 모습을 재현할 수 있었으며 1990년대의 SPOT 영상과 비교하여 도시화가 얼마나 가속화되었는지를 분석하였다.

2. 서 론

1960년 8월 12일 우주의 Discoverer XIII에서 낙하된 캡슐이 하와이 북서쪽 330 마일 해상에서 훼손되지 않은 채 무사히 수거되었다. 캡슐 안에는 관독용 필름이 아닌 미국 국기가 들어 있었으나 이를 계기로 냉전시대를 위한 고해상도 정보 수집의 가능성이 확인됨 셈이었다. 이것을 계기로 Discoverer XIV를 통한 CORONA 계획 9009가 시작되었다. 처음으로 성공한 CORONA 영상 수집을 통해 1,650,000 제곱 마일의 소련 지역을 필름에 담을 수 있었으며 이것은 기존의 모든 U-2 정찰기를 이용해 취득한 필름의 양보다 많은 것이었다. 또한 혁신적인 기술의 발달로 초창기 25-40 피트에 달하던 해상도를 6피트의 고해상도로 얻을 수 있었다.

미국은 CORONA와 더불어 ARGON, LANYARD 등 세 가지 영상취득 시스템을 가동하였는데 이중 CORONA가 국가 안보상 가장 중요한 시스템이었다. ARGON은 CORONA와 동시에 개발한 매핑용도의 영상취득 시스템으로 1961년 2월 17부터 1964년 8월 21일까지 12개의 임무가 수행되었다. 초점거리가 3인치이고 매핑을 위해 파노라마 방식이 아닌 프레임 방식으로 영상을 취득하였으며 지상해상도는 138m이다. LANYARD는 고해상도 영상관독을 위해 개발된 것으로 소련 Leningrad의 ABM 시설을 감시하기 위하여 2 피트의 해상도를 계획하고 제작하였다. 그러나 실제로는 6 피트의 해상도가 얻어졌으며 단 한번의 임무만을 수행하고 종료하였다. CORONA 시스템은 CIA와 미공군이 공동으로 관리하였으며 1960년부터 1972년까지 적대국가를 감시하는데 사용하였다. 탑재된 사진기는 KH-1, KH-2, KH-3, KH-4가 탑재되었으며 KH-4B는 지상해상도가 최고 2m에 이르는 고해상도 영상이다.

1972년 4월 20일 한반도를 촬영한 CORONA 영상에서 서울지역은 2개의 필름에 걸쳐져 있으며 2m 급의 고해상도로 당시 서울에 대한 정보를 포함하고 있기 때문에 70년대 서울에 대한 정보를 얻는데 다양한 활용이 가능할 것으로 생각된다.

3. CORONA 영상

CORONA 영상은 탑재된 사진기의 형식에 따라 영상을 얻는 방법이 조금씩 다른데 파노라마 방식으로 영상을 얻는 특성은 공통적이다. KH-1과 KH-2는 Fairchild Camera 회사에서 제작하였으며 70도 스캔방식의 수직촬영이며 왕복형식의 파노라마 사진기이다. 차이점은 KH-1의 경우 IMC가 일정하게 정해진 속도로 작동하는 반면 KH-2는 각각의 경로에 따라 연속적으로 속도가 변한다. KH-3 형식 부터는 Itek 회사에서 제작되었다. KH-3는 기존의 사진기와 비교해 다른 특징들을 가지게 되는데 온도 차이에 의해 발생하는 부정적인 영향을 구조적으로 개선한 디자인을 적용하였고, 보다 안정적으로 동작하도록 개선하였으며 필름의 이동과 초점거리를 안정적으로 유지하도록 개선하였고, 스캔축의 성능 향상과 고속 렌즈 시스템이 적용되었다. 또한 필름 폭이 2.1 inch에서 2.25 inch로 증가하였고 스캐닝 속도와 IMC 속도를 결정하기 위해 타이밍 펄스를 영상에 기록하였다. KH-4의 가장 큰 변화는 입체 영상을 제공한다는 것이다. KH-4는 2개의 KH-3 사진기를 하나의 틀에 장착하였으며 하나는 수직방향으로부터 15° 뒤쪽으로 하나는 15° 앞을 촬영하도록 되어 있다. 촬영시간도 기존의 3,4 일에서 6,7 일로 늘어났다. 영상을 취득하는 방식은 개략적으로 그림 1과 같다.

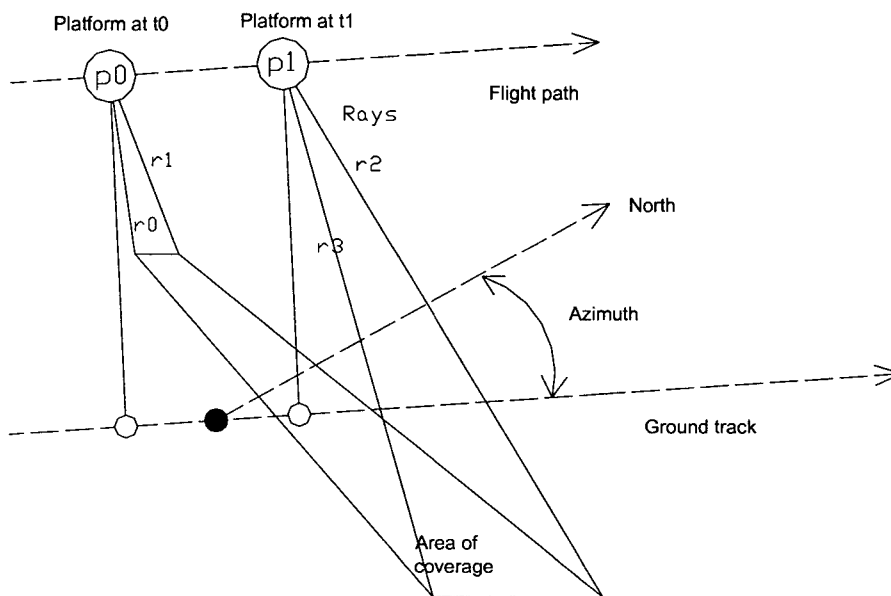


그림 1. CORONA의 영상취득 기하

본 논문에 사용된 1972년 CORONA 영상은 1972년 CORONA 영상은 KH-4B 형식의 사진기를 통해 얻어졌으며 그림 2와 같이 필름 스트립으로 구성되어 있는데 서울지역은 2장의 필름에 걸쳐 포함되어 있다. 영상의 특성은 표1과 같다.

CORONA 영상들은 파노라마 사진기로 취득하였기 때문에 사진의 양쪽 끝으로 갈수록 왜곡이 심해지는데 서울시의 경우 비교적 왜곡이 적은 편이다. 이론적으로 이상적인 스캐닝 크기는 식 (1)에 의해 구해질 수 있는데 필름의 해상도가 160lp/mm 이므로 라인 하나의 크기는 $6.25\mu\text{m}$ 이고 이상적인 스캐닝의 크기는 $3\mu\text{m}$ 이다(Light, 1993).

$$\frac{6.25\mu\text{m}}{2\sqrt{2}} \leq \text{스캐닝크기} \leq \frac{6.25\mu\text{m}}{2} \quad (1)$$

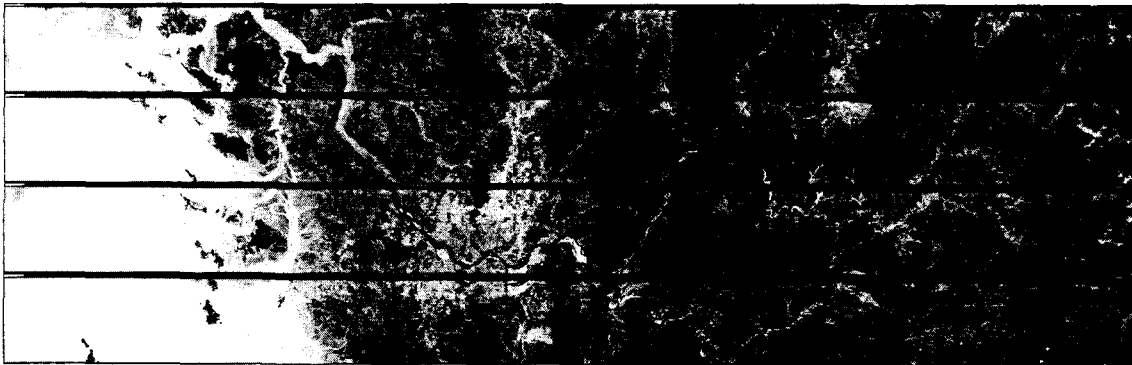


그림 2. 1972년 4월 20일 CORONA 영상

표 1. 1972 CORONA 영상의 특성

초점거리	610mm
필름크기	70mm × 760mm
필름해상도	160lp/mm
지상해상도	2m
촬영고도	145.8km
지상촬영면적	15km × 210km
사진축척	1:247,500

영상에서 발생하는 기복변위는 식 (2)로 표현된다. 식 (2)에서 Δr 은 필름 상에서 방사방향으로의 변위를 나타내며, r 은 방사거리 H 는 촬영고도이다. 서울지역의 경우 주거지역은 표고 100m를 넘는 지역이 거의 없으며 남산의 경우 정상 표고가 262m이다. 그림 3은 표고차 400m 지점에 대한 기복변위를 나타낸다.

$$\Delta r = \frac{rh}{H} \quad (2)$$

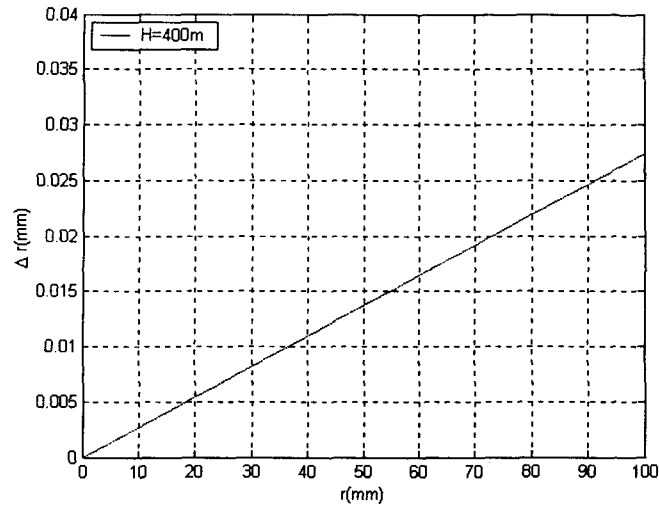


그림 3. 기복변위량

1972년 서울지역의 CORONA 필름들은 PhotoScan 장비를 이용 $7\mu\text{m}$ 로 스캐닝하였으며 1:5000 수치지도를 이용하여 기준점을 취득한 후 3차 다항식으로 지형보정을 수행하였다. 서울시의 경우 지난 30년 간 현격한 변화가 있었기 때문에 정확한 3차원 기준점 취득이 매우 어렵으며 도로의 경우 대부분이 변화하였기 때문에 위치 변화가 생기지 않은 일부 공공 건물만이 신뢰할 수 있는 기준점 정보를 제공하였다. 서울 지역의 1:5000 수치 지형도는 총 400도엽으로 이 중 일부에서 80여 점을 기준점으로 추출하였다. 1:5000 수치 지형도의 건물 백터 정확도는 1:5000 지형도의 허용 정확도 0.4mm로 미루어 짐작할 수 있는데 2m이다. 따라서 영상의 해상도를 고려하면 다소 부정확하기 때문에 1:1000 수치지도를 이용하는 것이 바람직하다. 3차 다항식을 구성할 때 기준점의 평균오차는 3픽셀 정도로 6m이며 결과영상은 그림 4와 5이다. 기준점의 배치는 그림 6, 7과 같다.

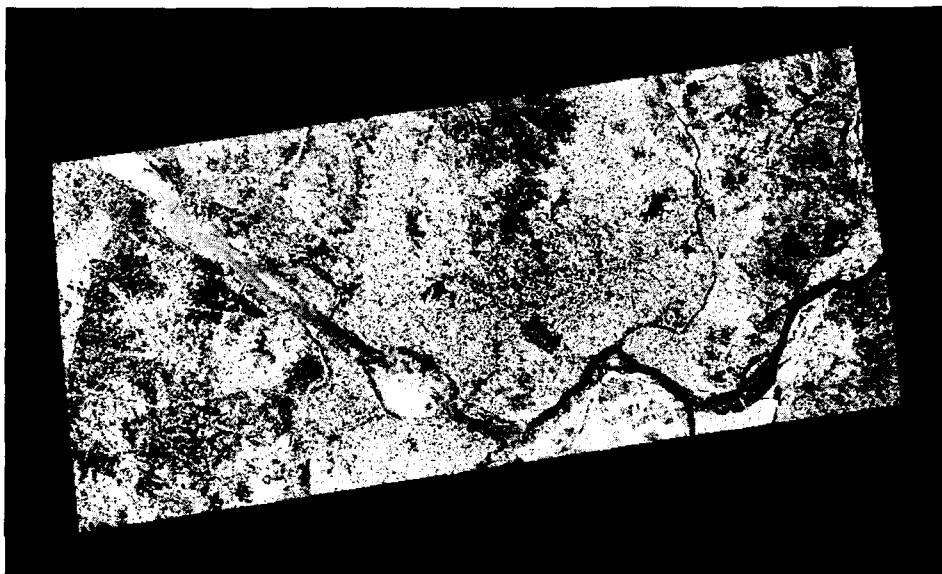


그림 4. CORONA 영상(1)

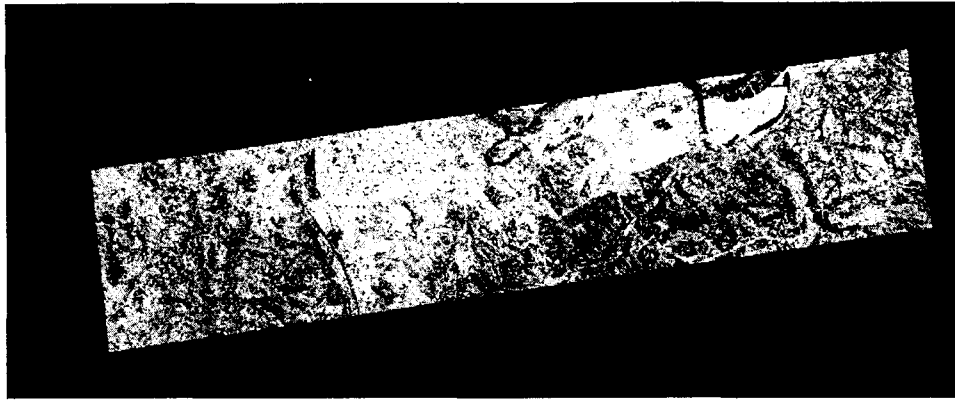


그림 5. CORONA 영상(2)

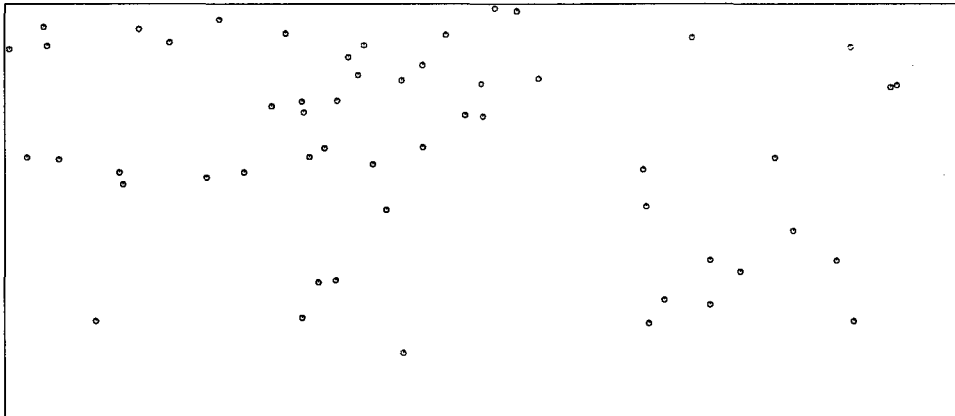


그림 6. 기준점 배치(1)

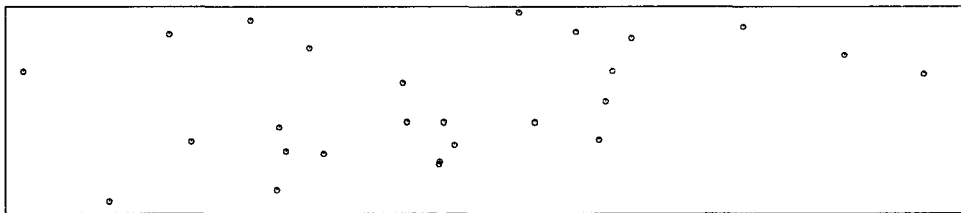


그림 7. 기준점 배치(2)

이렇게 지형보정된 2개의 영상에 대해 모자이크 작업과 방사보정을 거쳐 그림 8과 같은 서울시 영상지도를 제작하였다. 영상은 TM좌표로 왼쪽위가 170,000E, 464,000N이며 오른쪽아래가 217,000E, 433,500N이다. 그림 9는 영등포 지역을 1:5000 수치지형도와 중첩하여 본 것이다.

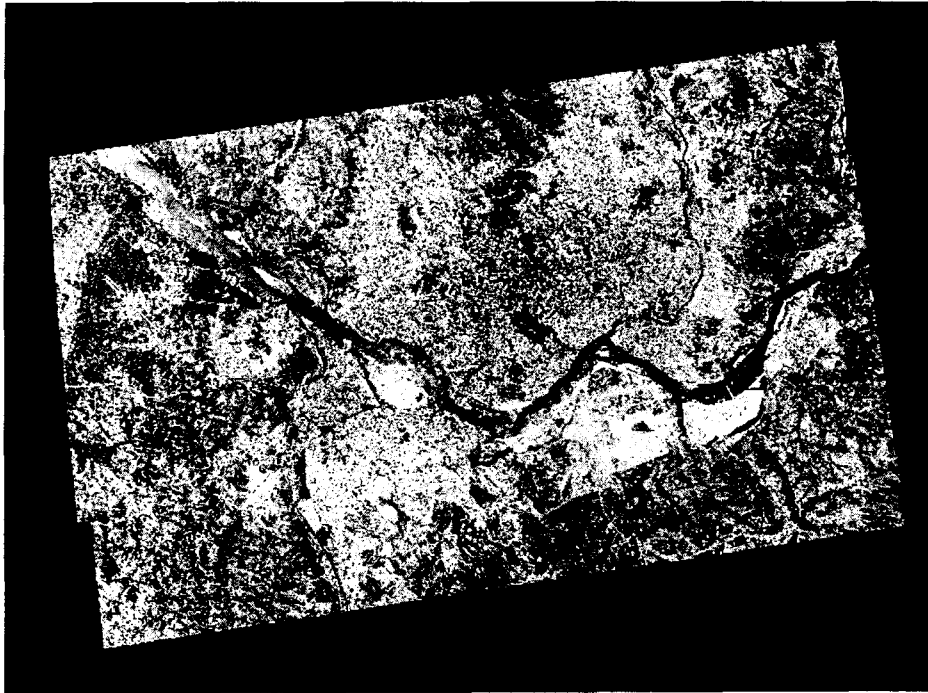


그림 8. 서울시 영상지도

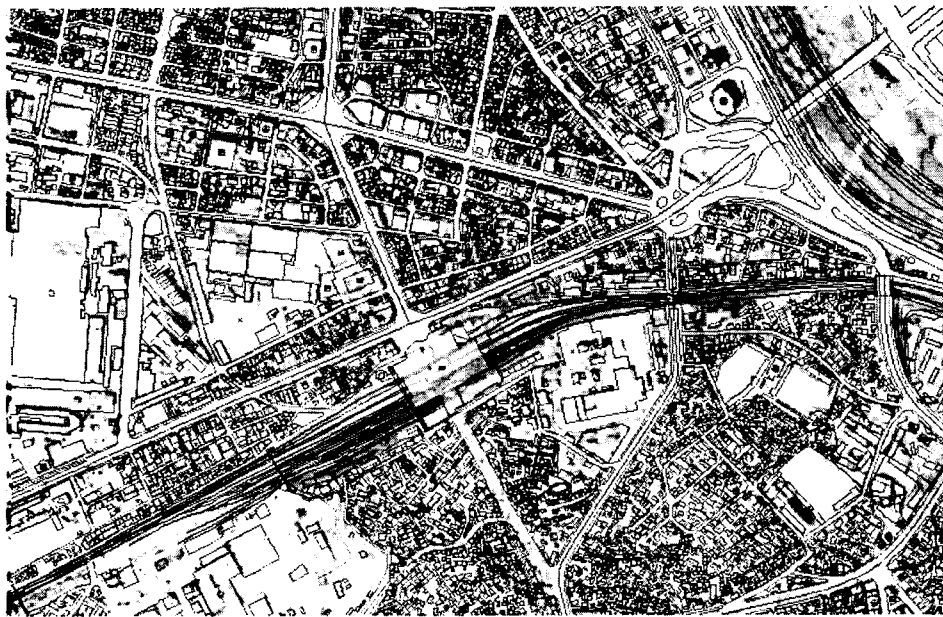


그림 9. 1:5000 수치지형도와 중첩

CORONA 영상은 일반 가옥을 영상에서 구별할 수 있을 정도로 고해상도이기 때문에 당시 서울에 대한 정보를 취득하는데 무리가 없었으며 영상을 판독하여 도시화된 지역과 그렇지 않은 지역을 구분함으로써 도시화에 대한 정보를 추출할 수 있었다. CORONA 영상은 가시광선 영역 뿐만 아니라 적외선부분까지 포함한 파장대를 이용한 영상으로 온도에 의해서도 밝기값의 차이가 생기게 되는데 이를 통해서도 유용한 정보를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 도시화지역과 그렇지 않은 지역을 구분하기 위하여 미국 USGS의 토지이용도 분류를 참고하였다. 도시지역에 대한 USGS의 토지이용 분류의 범위는 아래와 같다.

1 Urban or Built-Up Land

- 11 Residential
- 12 Commercial Services
- 13 Industrial
- 14 Transportation, Communications
- 15 Industrial and Commercial
- 16 Mixed Urban or Built-Up Land
- 17 Other Urban or Built-Up Land

위의 기준을 참고하였으며 무슨 지역인지 구분이 확실하지 않은 지역은 현재 제작되어 있는 1:50,000 지형도를 참고하여 유추하였다. 그림 10에서 노란색으로 표시된 부분은 도시화가 진행되어 도로, 건물들이 밀집한 지역이며 그 외의 지역은 산지, 전답 등을 포함한 일부 촌락이 존재하는 지역이다. 지금의 강남 지역은 1972년 당시 대부분 전답의 형태로 존재했고 한강변의 경우도 86년에 한강종합개발사업을 거치면서 지금과는 많은 차이를 보이고 있다. 현재와의 비교를 위해 1996년의 SPOT 영상에서 도시화 지역을 추출하였는데 해상도가 10m이기 때문에 대상물을 식별하기 보다는 밝기값의 분포와 질감을 통해 도시화 지역을 구분하였다. 1996년 SPOT 영상에서 과량게 표시된 도시화 지역과 비교하면 많은 차이가 있는데 1996년 SPOT 영상의 경우 서울시는 물론 서울시 주변의 경우도 산지를 제외하고는 거의 모든 지역에서 건물과 도로가 밀집된 도시화가 진행되었다.

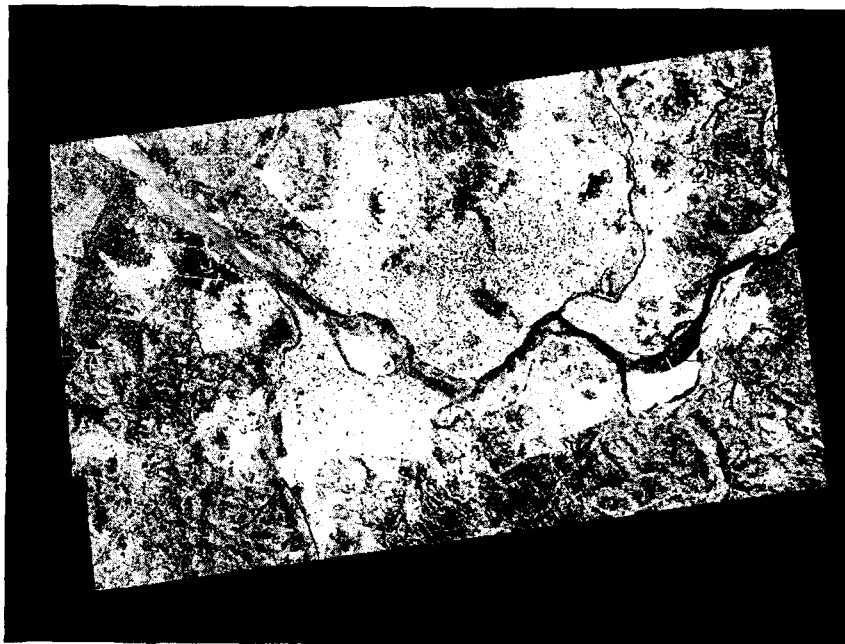


그림 10. 1972년 CORONA 영상

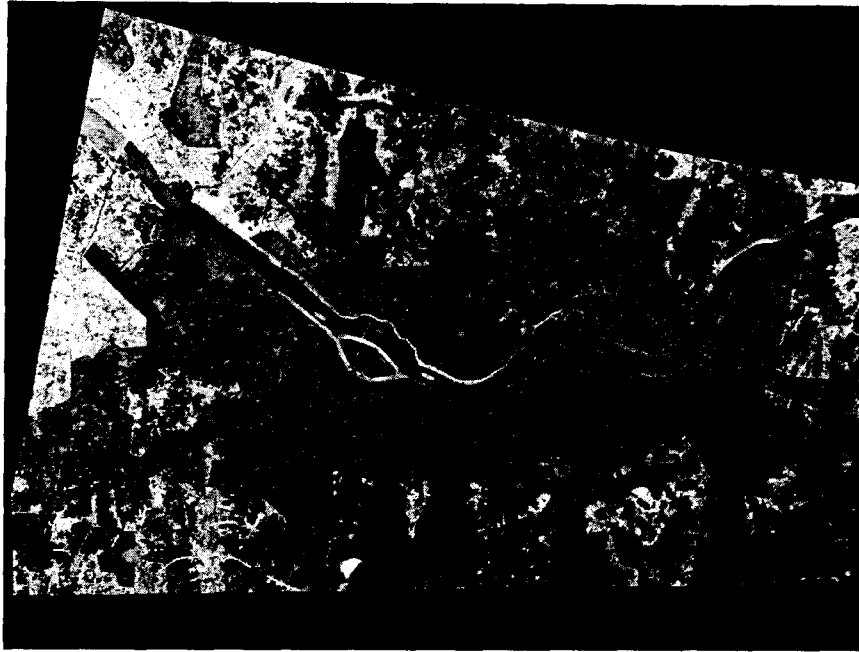


그림 11. 1996년 SPOT 영상



그림 12. 도시화 지역 비교

1972년과 1996년 동안의 서울시는 전체적으로 그림 12와 표 2와 같이 많은 변화가 생겼으며 여러 지역에 대해 토지구획 정리사업이 시행되면서 도시화가 진행되었다. 중요한 지역을 살펴보면 잠실지구의 경우 101억원의 사업비로 86년 사업이 완료되었으며 영동지역의 경우 2개의 지구로

나누어 85년과 90년에 사업이 완료됨으로서 지금의 반포와 방배, 서초, 양재동의 모습이 완성되었다. 그 외의 서울 외곽지역 또한 여러 지역에서 토지구획 정리사업과 각종 개발사업이 시행되었다. 한강 주변도 여의도 개발계획, 강변도로의 건설, 강변택지 조성, 각종 교량의 신설로 인해 많은 변화가 있었다.

표 2. 서울시 변화사항

연도	인구	면적(km ²)	인구밀도 (명/ha)	국가 GNP (\$)	도시화 면적(km ²)
1972년	6,076,143	613.04	99.0	106억	201
1996년	10,469,852	627.06	167.0	5183억	482

그림 13의 1972년 CORONA 영상에서 가장 큰 변화 지역인 잠실지역과 강남지역에서 수행된 당시 개발의 모습을 볼 수 있다. 잠실지역은 전답을 포함한 섬의 형태로 있었으며 하천을 막고 토사를 매립하여 택지로 조성하고 있었다. 영상에서 하얗게 보이는 부분이 매립을 위해 쏟아부은 모래이다. 이렇게 개발을 시작한 후 생긴 변화는 그림 14의 2000년 KOMPSAT-1 영상과 비교할 수 있다.

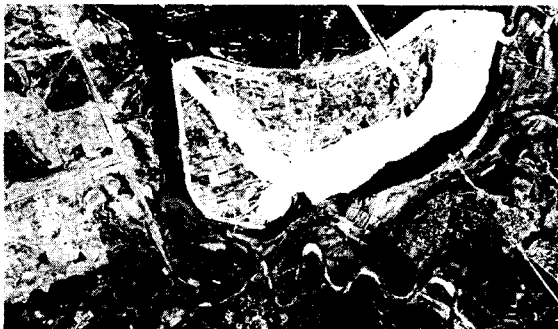


그림 13. 1972년 서울 잠실지역



그림 14. 2000년 서울 잠실지역

결 론

본 연구에서는 과거 냉전시대 미국에 의해 운영된 고해상도 첩보영상을 이용함으로써 1972년도 서울에 대한 정보를 취득할 수 있었다. 1960년대나 70년대의 고해상도 영상자료는 구하기가 어렵기 때문에 저렴한 비용으로 과거의 모습을 재현하기에는 CORONA 영상이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 다만 CORONA 영상의 경우 광범위한 지역에 대해 파노라마 방식으로 영상을 얻기 때문에 정확한 매핑을 위해서는 파노라마 사진이 가지는 왜곡, 지구곡률, 촬영동안 비행체의 이동에 의한 왜곡, IMC에 의한 왜곡 등 여러 가지를 고려한 모델링이 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Sohn. H. and K. Kim, (2000), Horizontal Positional Accuracy Assessment of Historical ARGON Satellite Photography, KSCE, Vol. 4, pp. 59-65.
2. McDonald, R.A., (1995), Corona: Success for Space Reconnaissance, a Look into the Cold War, and Revolution for Intelligence, PE&RS, Vol. 61, pp.689-720.
3. Tappan, G. G., H. Amadou , C. W. Eric , and W. L. Ronald, (2000), Use of Argon, Corona, and Landsat Imagery to Assess 30 Years of Land Resource Changes in West-Central Senegal, PR&RS, Vol. 66, pp. 727-735.
4. Light, D.L., (1993), The Natonal Aerial Photography Program as a Geographic System Resource, PE&RS, Vol. 59, pp. 61-65.