



시계열 패치 매핑을 이용한 토지피복도의 도시공간구조 변화 검출

이영창^{1*} · 이경미² · 전진형³

¹고려대학교 오정에코리질리언스연구원 환경생태연구소

²덕성여자대학교 컴퓨터학과

³고려대학교 환경생태공학부

Urban spatial structure change detection in land cover map using time-series patch mapping

Young-Chang Lee^{1*} · Kyoung-Mi Lee² · Jinhyung Chon³

¹Institute of Environment and Ecology, OJeong Eco-Resilience Institute, Korea University, Seoul 02841, Korea

²Department of Computer Science, Duksung Women's University, Seoul 01369, Korea

³Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 02841, Korea

[요 약]

본 논문에서는 토지피복도에서 공간구조를 검출하고 시계열 공간구조 변화를 검출하는 시스템을 제안한다. 서로 다른 시간의 토지피복도에서 패치를 검출하고 패치의 측정요소를 계산하여 공간구조 패턴을 분석한다. 검출된 시계열 패치에 대해 패치 매핑을 이용하여 유지, 생성, 소멸, 분할, 병합, 혼합적 변환 등의 변화 유형을 결정한다. 또한, 시계열 토지피복도의 패치 기반 공간구조 패턴을 이진으로 저장하여 변화를 추출하였다. 본 논문에서는 제안하는 토지피복도 공간구조 변화검출 시스템을 통해 해당 지역(도시)의 난개발 현상을 진단하고, 향후 도시공간구조의 재구축을 위한 계획수립에 근거 자료로 활용될 수 있음을 보여주고 있다.

[Abstract]

In this paper, we propose a system to detect spatial structures in land cover maps and to detect time-series spatial structure changes. At first, the proposed system detects patches in a certain area at different times and calculates their measures to analyse spatial structure patterns of the area. Then the system conducts patch mapping among the detected time-series patches and decides 6 types of patch changes such as keeping, creating, disappearing, splitting, merging, and changing in a mixed way. Also, the system stores the patch-based spatial structure patterns of time-series land cover maps in binary form to extract changes. This demonstrated that the proposed change detection system can be used as a basis for planning the reconstruction of the urban spatial structure by measuring the degree of urban sprawl.

색인어 : 변화 추출, 패치 매핑, 공간구조, 지속가능한 지역(도시)개발, 도시 난개발

Key word : Change detection, Patch mapping, Spatial structure, Sustainable regional(urban) development, Urban sprawl

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.9.1727>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 06 September 2018; Revised 12 September 2018

Accepted 20 September 2018

*Corresponding Author; Young-Chang Lee

Tel: +82-2-901-8348

E-mail: envi0320@gmail.com

1. 서론

2000년대 이후 우리나라는 저출산·고령화 등에 따른 인구감소와 지역경제의 침체에 따른 기성시가지 등의 공동화 현상이 급속히 진행되고 있다. 이런 광역 및 지방 중, 소도시의 쇠퇴문제를 해결하기 위해서는 도시의 기능을 지속적으로 유지하며 효율적으로 개발 가능한 새로운 도시개념의 필요성이 요구되고 있다. 특히 도시개념 가운데 도시공간구조의 재구축은 시급히 선행되어야 할 연구적 필요성이 있다. 그 이유는 기존의 도시공간구조 재구축에 있어서 최대의 문제점으로 광역, 지방 중, 소 도시를 막론하고 교외지역의 난개발의 해결이 개선되고 있지 않기 때문이다. 난개발의 주요 요인으로는 일반적으로 가구소득의 증가, 자동차보유율의 상승, 그리고 인구증가 등 대체로 세 가지를 주목한다[1]. 그러나 현재의 우리나라의 지역도시의 현황을 볼 때 일부 상반되는 현상이 진행되고 있음에도 교외지역의 난개발은 여전히 심각한 상황이다. 이와 같이 난개발의 문제로 인해 승용차에 의존하는 교통체계, 장거리 통행, 환경오염, 과도한 기반시설 공급비용, 무분별한 토지이용의 변동과 파편적 확장 등 사회적으로 바람직하지 않는 문제들을 유발하고 있는 실정이다.

유럽, 미국, 일본 등 선진국의 많은 나라에서는 난개발의 문제를 해결하기 위하여 다양한 도시성장관리정책을 채택하고 있다. 이와 관련하여 정현욱과 김재익은 도시성장관리정책의 효과를 평가하는 지표를 표 1과 같이 정의하였다[1]. 특히 난개발 지표와 연계되는 성장관리정책의 평가지표로서 ‘도시밀도(urban density)’, ‘시가화된 토지면적(urbanized area)’, ‘기반시설 지출비용(expenses of infrastructure expenditure)’은 성장관리정책의 목적과도 부합되어 도시공간구조의 재구축을 위해 파악되어야 할 중요한 요인이다. 이러한 도시성장관리정책의 목적과 평가지표를 활용한 도시공간구조의 재구축은 향후 지속가능한 도시(지역)개발을 위한 새로운 도시(지역)발전 유형으로 가시화 될 것이다[2].

이러한 도시(지역)의 토지이용 현황과 경관구조를 분석하는데 이용되는 대표적인 데이터인 토지피복도는 어느 시점에 원

격탐사(remote sensing)를 통해 취득한 이미지로부터 시간이 경과함에 따라 기후 재해와 같은 천재지변과 도시확산, 도시개발 및 지역 관리와 같은 인간 활동에 따라 변화될 수 있다. 따라서 토지피복도의 변화를 검출하는 것은 토지의 개발방향을 확인하기 위한 중요한 시발점이 될 수 있다. A. Singh은 변화 추출(change detection)을 ‘대상이나 현상의 상태 차이를 다른 시간에 관찰함으로써 식별하는 과정’이라고 정의했다[3]. 일반적으로 변화 검출 시스템은 시계열 데이터를 사용하여 현상의 일시적인 효과를 정성적으로 분석하고 변경 사항을 정량화한다[4]. 이런 토지피복도를 이용한 변화 검출 시스템은 토지 이용 변화, 서식지 파편화, 삼림 벌채 비율, 연안 변화, 도시의 난개발 현상 및 기타 누적 변화와 같은 응용 분야에서 유용하다[5].

최근 토지피복도에서 변화를 검출 방법에 대해 다양한 연구가 이루어졌다. 연구자들은 전통적인 픽셀 기반(pixel-based) 방식과 최근에 객체 기반(object-based) 방식을 포함한 다양한 변화 탐지 방법을 개발하는데 많은 노력을 기울였다[4]. 픽셀 기반 방식은 이미지 내의 공간적 관계를 고려하지 않고 이미지 픽셀을 기본 단위로 사용하여 각 픽셀의 변화를 확인하는 방식이다. 이미지 차분, 이미지 비율, 회귀 분석, 식생 지수 차분, 변화 벡터 분석, 주성분 분석(PCA) 및 캡 변환(KT) 등 다양한 검출방법이 연구되었다. 그러나, 픽셀은 실제 토지에서 의미있는 단위의 객체가 아니므로, 공간 및 기하학적인 측면을 통합하여 토지 구조의 포괄적인 표현, 정확하고 확실한 정보를 추출하기 위해, 먼저 이미지 객체를 만든 다음 변화를 추출하는 추가적인 분석을 사용하는 객체 기반 방식에 대한 관심이 높아졌다. 객체 기반 변화 검출 방법은 크게 시계열 이미지로부터 객체를 직접 비교하는 방법, 변화 과정의 정보를 담은 변화 행렬을 사용하는 방법, 다중 시간 이미지를 포함한 합성 이미지 내의 객체들의 변화를 검출하는 방법 등으로 나뉘어진다.

지금까지 연구된 대부분의 픽셀 기반 또는 객체 기반 검출 방법은 특정지역의 토지 이용 현황이 시간적으로 어떻게 변화했는가를 추출하는 것만을 목표로 한다. 단순히 토지피복도의 변화를 추출하는 것에서 머물지 않고 토지피복도의 공간 구조를 이해하기 위해 경관 모자이크의 기본 단위인 패치와 패치의 공간 구조 패턴을 분석하는 것은 매우 중요하다. 따라서 시계열 데이터에서 패치와 패치의 공간 구조 패턴의 변화를 분석하는 연구는 반드시 필요하다.

본 논문의 연구목표는 동일한 지역에 대해 서로 다른 시간에 촬영한 토지피복도의 공간 구조 패턴에 대한 변화, 즉 시계열 데이터에 따른 일정 도시공간구조의 변화를 발견하기 위해서 패치기반 매핑을 이용한 토지피복도 공간 구조 변화 추출 시스템을 개발하는 것이다. 표 1의 난개발 지표와 연계되는 성장관리정책의 평가지표와의 의미를 해석하고 그것들의 변화를 성장관리정책의 목적과 부합시켜 고찰함으로써 도시공간구조에 대한 분석결론을 도출한다. 연구범위는 1980년대부터 최근에 걸쳐 많은 토지이용의 변경과 관련 개발사업 및 지역재생사업 등으로 택지변용이 활발한 경기도 평택시의 기성시가지 1곳을

표 1. 도시성장관리정책의 목적과 평가지표[1]
Table 1. Purposes and evaluation indexes of urban growth management policy

Purpose	Evaluation index	Remarks
<ul style="list-style-type: none"> • Urban sprawl • Agricultural land preservation • Minimizing the burden of supplying public facilities 	Population	
	Urban density	S.i.*
	Urbanized area	S.i.*
	Property value	
	Expenses of infrastructure expenditure	S.i.*
	Quality of life	
	Housing production	
	Employment growth	

*S.i. means "evaluation index for sprawl".

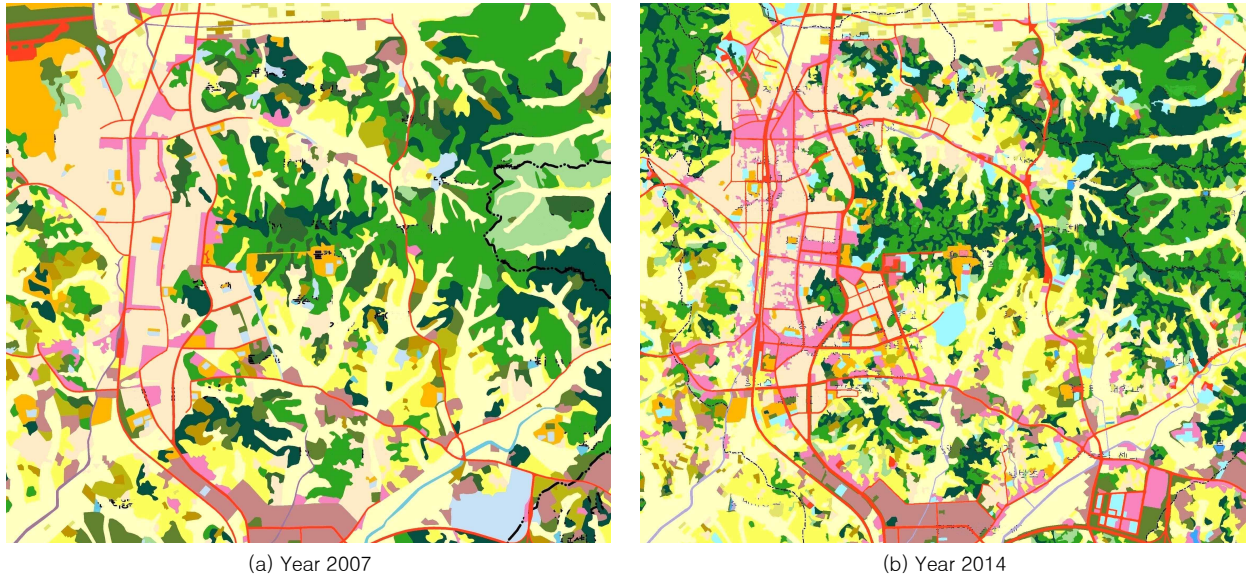


그림 1. 평택시 대상지역(기성시가지)의 시계열 토지피복도
 Fig. 1. Time-series land cover map of Pyeongtaek city area(in existing urban area)

대상으로 하였다. 시계열 데이터는 해당지역의 2007년도와 2014년도 중범례 토지피복도를 이미지데이터로 활용하였다. 그림 1은 평택시 대상지역의 2007년(그림 1(a))과 2014년(그림 1(b))의 중범례 토지피복도를 보여준다.

II. 패치기반 공간구조 패턴 분석

이전 연구에서 경관 모자이크의 요소인 패치에 기반하여 토지피복도의 공간구조 패턴을 분석하는 시스템을 개발하였다 [6]. 우선, 패치를 이용한 공간구조 패턴 분석 시스템을 개발하기 위해 영역 기반 영상처리를 통해 패치를 검출하였다. 이러한 영역기반 패치 검출방법은 영역이 패치와 다루는 단위가 동일하여 이해하기 쉬운 뿐만 아니라 영역의 측정요소를 이용하여 패치의 성질을 올바르게 표현할 수 있는 장점이 있다.

이전 패치분석 시스템은 지역계획의 미시적 공간 분석을 위해 기존의 토지피복도 중분류 22개 클래스에 대하여 토지이용 해석의 유사정도를 기준으로 다음과 같은 12개의 클래스로 새롭게 재정립하여 사용하였다: 주거, 공업, 상업, 문화·공공시설, 교통, 논밭, 기타시설재배, 산림, 초지, 습지, 나지, 수역. 이중 주거, 공업, 상업, 문화·공공시설, 교통이 5개의 도시화 클래스이다.

영역기반 영상처리 방법으로 12개의 클래스에 대한 패치를 검출하면, 검출된 패치에 대해 측정요소를 계산한다[6]. 측정요소는 패치 레벨과 클래스 레벨로 나뉜다. 패치 레벨 측정요소는 개별적인 패치 자체의 성질을 표현하는 측정요소를 말하며, 다음과 같은 측정요소들을 계산한다: 면적(Area), 방향(Direction), 둘레길이(Perimeter), 반지름(Radius), 연신율

(Elongatedness), 이심률(Eccentricity), 원형도(Circularity), 응축도(Compactedness), 분산도(Spreadness), 최근접 이웃거리(Nearest distance), 중력(Gravity) 모형. 그리고 클래스 레벨 측정요소는 각 범례에 대한 패치들 사이의 성질을 통해 전체적인 공간구조를 파악할 수 있는 측정요소를 말하며, 다음과 같은 측정요소들을 계산한다: 클래스 패치 개수, 클래스 면적의 합, 면적 비율, 이웃 반지름, 선형회귀 오차. 또한, 앞에서 계산한 패치 레벨 측정요소에 대해 각각 3가지의 통계치인 평균, 면적기반 가중평균, 표준편차를 포함한다.

토지피복도의 공간구조에 대한 측정요소를 사용하여 다음과 같은 패치기반 공간분석 패턴을 분석한다[6].

- ① 해당 클래스가 토지피복도에 주요하게 차지한다.
- ② 토지피복도는 큰 크기의 패치를 포함하고 있다.
- ③ 클래스는 여러 개의 작은 패치들로 나뉘어 있다.
- ④ 큰 크기의 패치들이 가까이 위치하고 있다.
- ⑤ 가장 가까운 패치와의 거리가 비교적 가깝다.
- ⑥ 가장 가까운 패치와의 거리가 균등하다.
- ⑦ 패치들이 연결되어 있는 편이다.
- ⑧ 패치들 사이의 거리가 비교적 가깝다.
- ⑨ 패치들이 비교적 직선으로 배치하고 있다.
- ⑩ 패치의 모양이 원형에 가깝다.

따라서, 토지피복도에서 검출된 클래스 별 패치 패턴을 분석하면, 해당 토지피복도의 공간구조 패턴을 찾을 수 있다.

또한, 본 논문에서는 표 1에서 제시한 도시 난개발 지표인 ‘도시밀도’, ‘시가화된 토지면적’, ‘기반시설 지출비용’ 와 연계된 공간구조를 분석하기 위하여 패치의 측정요소와 공간분석 패턴을 이용한다. 5개 도시화 클래스에 대해 해당 패치의 밀도, 분포 정도, 분포 형태 등을 계산하여 난개발 정도를 측정한다.

III. 제안하는 시계열 토지피복도의 패치 매핑

3-1 시계열 패치 매핑의 정의

일반적으로 동일한 지역에 대해 서로 다른 시간에 촬영한 토지피복도의 변화를 검출하기 위해서 두 영상을 중첩하여 그 변화를 검출한다. 이러한 변화추출 방법은 그 대상을 픽셀로 하여 각 픽셀의 토지이용도의 변화를 정량적으로 계산할 수 있다. 즉, 그림 2는 $t-1$ 시간의 토지피복도와 t 시간의 토지피복도를 보여주고 있으며, 20개의 픽셀은 원래의 지역을 그대로 유지하고 있는 반면에, 2개의 픽셀은 주거지역에서 논밭지역으로, 3개의 픽셀은 논밭지역에서 주거지역으로 변화됐음을 알 수 있다.

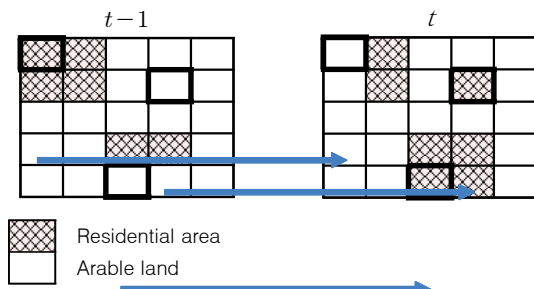


그림 2. 픽셀 매핑을 이용한 시계열 토지피복도 변화 검출 방법
Fig. 2. Change detection method of time-series land cover map using pixel-based mapping

그러나 픽셀 매핑 방법은 변화 검출을 위해 널리 사용되고 있지만, 매핑하는 두 토지피복도의 해상도에 따라 잘못 매핑될 수 있으며[7], 잡음(noise) 제거 등의 이미지 전처리가 변화 검출과 같은 후처리의 결과에 매우 영향을 미친다는[8] 문제점이 있다. 더욱이 매핑의 단위가 픽셀이므로 각 픽셀에서의 토지 이용 변화만을 알 수 있고 전체적인 공간구조 패턴에 대한 변화를 파악하기는 어렵다는 단점도 있다. 그림 2의 논밭지역에서 주거지역으로 변화한 2개의 픽셀 중 1개의 픽셀은 새로운 패치를 생성하고, 다른 1개의 픽셀은 기존 패치의 크기를 확대하고 있다. 따라서 이러한 공간구조의 변화를 검출하기 위해서 본 논문에서는 픽셀이 아닌 패치 매핑을 통해 패치의 변화를 검출함으로써 공간구조의 변화를 검출할 수 있는 방법을 제안한다. 동일한 지역에 대해 서로 다른 시간에 촬영한 토지피복도에 대해 각각

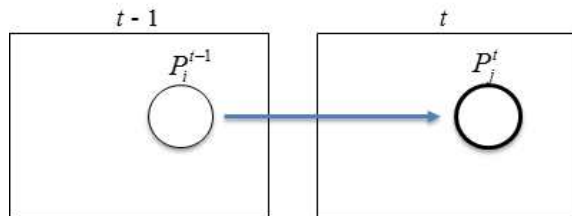


그림 3. 패치 매핑 1 : 유지
Fig. 3. Patch mapping 1(K) : Keeping

II장에서 설명한 방법으로 패치를 검출한다. 검출된 패치를 중첩하여 일부라도 겹치는 패치는 서로 매핑한다고 간주한다. 그림 3은 $t-1$ 시간의 토지피복도에서 검출된 패치 P_i^{t-1} 와 t 시간의 토지피복도에서 검출된 패치 P_j^t (단, $i \neq j$)가 겹친다면, 두 패치는 동일한 지역의 시계열 패치로 간주하여 매핑됨을 보여준다.

3-2 패치 매핑을 이용한 토지피복도 패치 변화의 유형

3-1장에서 정의한 패치 매핑을 이용하여 두 패치 사이에 일어난 변화를 분석할 수 있다. 시계열 토지피복도에서 두 패치 사이에 가능한 변화의 유형은 다음과 같다.

- ① 패치 유지(K) : 그림 3처럼 $t-1$ 시간의 하나의 패치 P_i^{t-1} 가 t 시간의 하나의 패치 P_j^t 와 매핑한다면, 패치 P_i^{t-1} 는 t 시간에 유지된 것이다. 이 때, 두 패치 P_i^{t-1} 와 P_j^t 의 측정요소를 계산하여, 두 패치 사이에 아무런 변화가 없는지, 패치의 크기가 확대 또는 축소의 변화가 발생했는지를 판단한다.
- ② 새로운 패치 생성(C) : 그림 4에서 보여주듯이, $t-1$ 시간의 토지피복도에서 없었던 패치가 t 시간의 토지피복도에서 존재한다면, 새로운 패치 P_j^t 가 생성된 것이다.

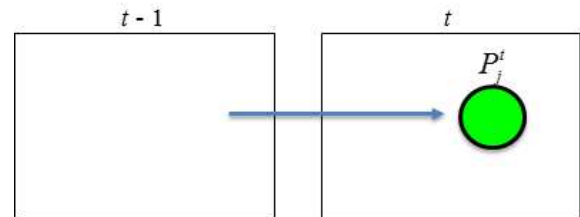


그림 4. 패치 매핑 2 : 새로운 패치 생성
Fig. 4. Patch mapping 2(C) : Creating a new patch

- ③ 기존 패치 소멸(D) : 그림 5에서 보여주듯이, $t-1$ 시간의 토지피복도에 존재하던 패치 P_i^{t-1} 가 t 시간의 토지피복도에 매핑되는 패치가 없다면, 패치 P_i^{t-1} 는 사라진 것이다.

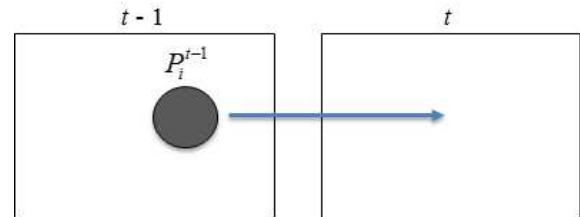


그림 5. 패치 매핑 3 : 기존 패치 소멸
Fig. 5. Patch mapping 3(D) : Disappearing an previously existing patch

- ④ 여러 개로 분할(S) : 그림 6에서 보여주듯이, $t-1$ 시간의 패

치 P_i^{t-1} 가 t 시간의 여러 패치 $P_{j_1}^t, P_{j_2}^t$ 와 매핑된다면, 패치 P_i^{t-1} 는 패치 $P_{j_1}^t, P_{j_2}^t$ 인 부분만 유지되고(흰 패치) 나머지 부분(회색)은 분할되거나 축소된 것이다.

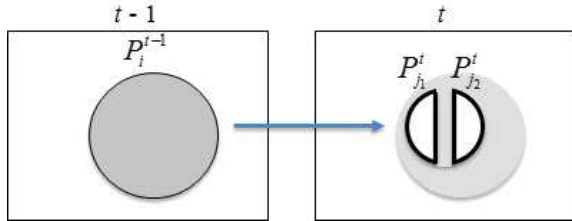


그림 6. 패치 매핑 4 : 여러 개로 분할
Fig. 6. Patch mapping 4(S) : Splitting multiple parts

⑤ 하나로 병합(M) : 그림 7에서 보여주듯이, $t-1$ 시간의 여러 패치 $P_{i_1}^{t-1}, P_{i_2}^{t-1}$ 가 t 시간의 패치 P_j^t 와 매핑된다면, 패치 $P_{i_1}^{t-1}$ 와 $P_{i_2}^{t-1}$ 는 패치 P_j^t 에 유지되면서(흰 색) 넓게 병합되거나 확대된 것(빨간 패치)이다.

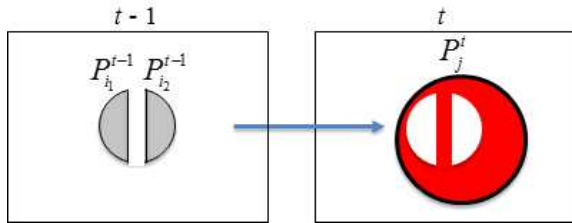


그림 7. 패치 매핑 5 : 하나로 병합
Fig. 7. Patch mapping 5(M) : Merging into one patch

⑥ 혼합적 변화(X) : 그림 8에서 보여주듯이, $t-1$ 시간의 여러 패치 $P_{i_1}^{t-1}, P_{i_2}^{t-1}$ 가 t 시간의 여러 패치 $P_{j_1}^t, P_{j_2}^t$ 로 함께 매핑된다면, 패치 $P_{i_1}^{t-1}, P_{i_2}^{t-1}$ 가 일부는 $P_{j_1}^t, P_{j_2}^t$ 로 분할되고(회색), 일부는 병합(파란색)되며, 일부는 유지(흰색)되는 등 두 개 이상의 변화가 혼합적으로 일어난 것이다.

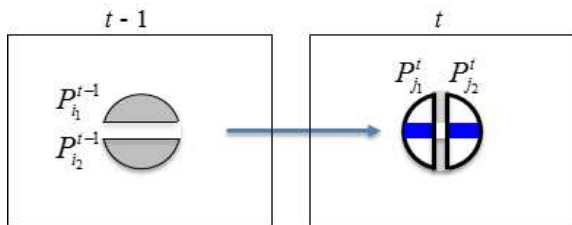


그림 8. 패치 매핑 6 : 혼합적 변화
Fig. 8. Patch mapping 6(X) : Changing in a mixed way

3-3 패치 변화의 유형 결정

앞에서 설명한 패치 변화의 유형을 결정하기 위해 2차원 매

핑 테이블 $T(i,j)$ 을 정의한다. 여기서 i 는 $t-1$ 시간의 i 번째 패치 P_i^{t-1} 를, j 는 t 시간의 j 번째 패치 P_j^t 를 말한다. 식 (1)을 이용하여 P_i^{t-1} 이 P_j^t 와 매핑되면, $T(i,j)$ 의 값을 1로 할당한다.

$$T(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{if } P_i^{t-1} \text{ is mapped with } P_j^t \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

다음으로 매핑 테이블의 각 행의 합 $\sum_j (T(i,j))$ 과 각 열의 합 $\sum_i (T(i,j))$ 을 계산한다. 모든 시계열 패치 매핑에 대해 표 2를 이용하여 패치의 변화 유형을 결정한다.

표 2. 패치의 변화 유형 결정표

Table 2. Table for determining types of patch change

$(\sum_j (T(i,j)), \sum_i (T(i,j)))$	Types of patch change
(0, *)	Mapping 3(D)
(* , 0)	Mapping 2(C)
(1, 1)	Mapping 1(K)
(1, >1)	Mapping 4(S)
(>1, 1)	Mapping 5(M)
(>1, >1)	Mapping 6(X)

i \ j	0	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	1	1
6	0	0	0	0	0	1	1

그림 9. 매핑 테이블 예
Fig. 9. Example of mapping table

예를 들어, $t-1$ 시간의 7개의 패치와 t 시간의 7개의 패치 사이의 매핑을 계산한다고 하자. 그림 9는 패치 매핑을 이용하여 완성된 매핑 테이블 $T(i,j)$ 의 예를 보여준다. 0번째 행은 합이 0이므로 패치 P_0^{t-1} 는 소멸됐다. 반대로, 0번째 열의 합이 0이므로 새로운 패치 P_0^t 가 생성됐다. 2번째 행의 합이 2이므로 패치 P_2^{t-1} 는 P_2^t 와 P_3^t 로 분할됐다. 4번째 열의 합이 2이므로 패치 P_3^{t-1} 와 P_4^{t-1} 는 P_4^t 로 병합됐다. 이런 원리로 P_5^{t-1} 와 P_6^{t-1} 은 P_5^t 와 P_6^t 로 분할되었고, P_5^t 와 P_6^t 는 P_5^{t-1} 와 P_6^{t-1} 로 분할되어서 혼합적 변화가 일어났다. 지금까지의 과정을 정리하면 알고리즘 1과 같다.

알고리즘 1. 패치 변화 유형 결정 알고리즘

Algorithm 1. Algorithm for patch change type determination

```

initialize  $T(i, j)$  to 0.
for all patches  $P_i^{t-1}$  at  $t-1$ 
    find mapped patches  $P_j^t$  and set  $T(i, j)$  to 1.
for  $i$  in  $T(i, j)$ 
    calculate the sum of the  $i$ -th row of  $T(i, j)$ ,  $\sum_j (T(i, j))$ .
    if the sum is 0, Mapping 3(D).
for  $j$  in  $T(i, j)$ 
    calculate the sum of the  $j$ -th column of  $T(i, j)$ ,  $\sum_i (T(i, j))$ .
    if the sum is 0, Mapping 2(C).
for all mapping in  $T(i, j)$ 
    switch  $(\sum_j (T(i, j)), \sum_i (T(i, j)))$ 
        case (1, 1) :
            calculate size measures of  $P_i^{t-1}$  and  $P_j^t$ .
            if  $size(P_i^{t-1}) > size(P_j^t)$ , Mapping 1(K) - Shrinking
            else if  $size(P_i^{t-1}) < size(P_j^t)$ , Mapping 1(K) - Expanding
            else, Mapping 1(K) - No change.
        case (1, >1) : Mapping 4(S)
        case (>1, 1) : Mapping 5(M)
        case (>1, >1) : Mapping 6(X)
    
```

IV. 제안하는 패치기반 토지피복도 변화 추출

본 논문에서는 III장의 시계열 패치 매핑을 이용하여 토지피복도의 공간구조 변화를 추출하는 방법을 제안한다. 그림 10은 제안하는 토지피복도 변화 추출 방법의 흐름도를 보여준다. 우선 $t-1$ 시간과 t 시간의 토지피복도에 대해 각각 II장에서 설명한 영역기반 방법을 이용하여 패치를 검출하고 패치의 측정요소를 계산하여 공간구조 패턴을 분석한다.

그림 11(a-f)은 그림 1의 평택시 기성시가지에 대한 2007년

과 2014년 토지피복도의 주거 지역(그림 11(a-b)), 상업 지역(그림 11(c-d)), 교통 지역(그림 11(e-f))의 패치를 검출한 결과들을 보여준다. 이미지 결과상으로 볼 때 2007년에서 2014년으로 시간이 흐름에 따라 각 클래스의 패치와 패치의 공간구조 패턴이 변화된 것을 확인할 수 있다. 또한 도시확산과 관련 있는 주거, 상업, 교통지역은 시간의 흐름에 따라 패치의 분산, 확산, 광역적 연결 등이 시간적으로 확인이 가능하다.

다음으로 토지피복도에서 검출된 시계열 패치 추출 결과에 대해 III장에서 제안한 패치 매핑을 이용하여 패치의 변화를 검출한다. 그림 12(a-c)는 각각 그림 11의 클래스 별시계열 패치 검출 결과에 대해 패치 매핑한 결과를 보여준다. 밝은 색은 패치 매핑 1에 의해 2007년과 2014년 패치가 모두 또는 일부 유지하고 있음을 의미하며, 연두색은 패치 매핑 2에 의해 2007년에는 없었던 패치가 2014년에는 새롭게 생성된 패치를 의미한다. 어두운 회색은 패치 매핑 3에 의해 2007년에 존재한 패치가 2014년에는 사라진 패치의 상태를 의미한다. 한편 밝은 색과 회색이 혼재하는 경우는, 패치 매핑 4에 의해 2007년의 기존 패치가 2014년에는 여러 개로 분할, 축소된 상태를 의미한다. 빨간색은 패치 매핑 5에 의해 2007년에는 여러 개의 패치가 2014년에는 병합, 확장된 상태를 의미한다. 파란색은 패치 매핑 6에 의해 2007년에는 기존의 패치의 상태가 2014년에는 혼합적 변화에 의한 새로운 변화의 상태를 의미한다.

이와 같은 패치 매핑 결과는 도시공간구조의 변화에 대한 해석이 가능하며, 특히 본 연구에서 주목한 난개발지표와 관련하여 특정 해석이 가능하다. 먼저, 그림 12(a)의 주거지역의 경우는 시간의 경과에 따라 패치가 밝은 색과 회색이 혼재된 상태(패치 매핑 4), 즉 시가지를 중심으로 기존 주거지역과 사라진 주거지역이 혼재된 상태로 매우 다수 존재한다는 사실을 발견할 수 있다. 이는 시가지 내의 인구감소 및 침체현상을 함께 예상할 수 있는 중요한 결과이다. 반면 시가지 외곽에는 새로운

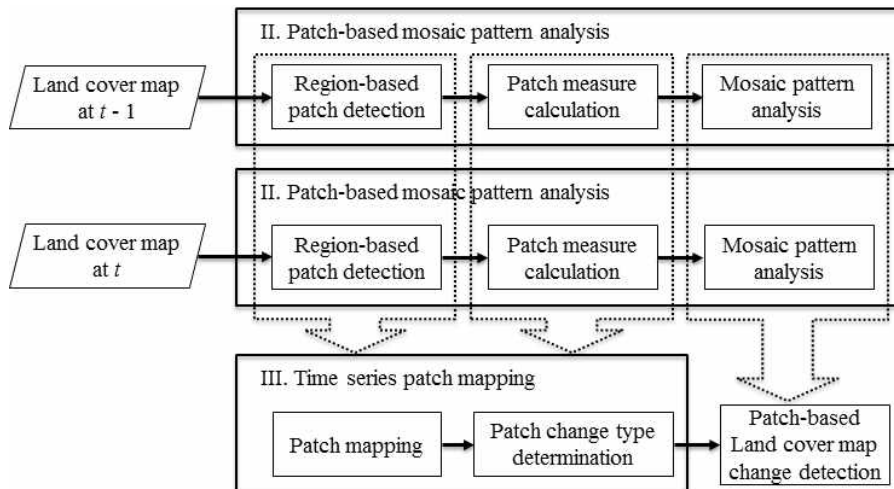
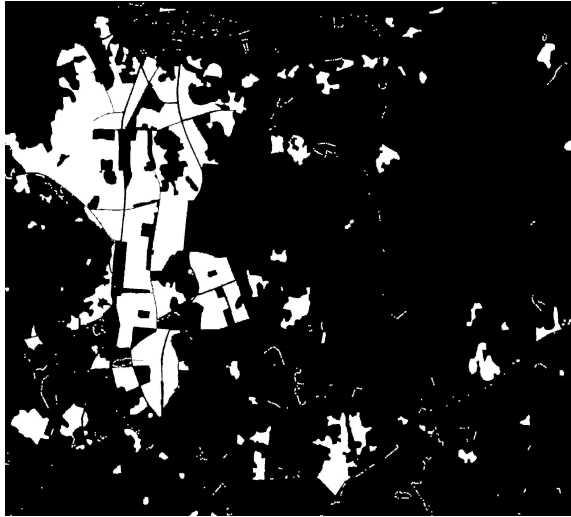
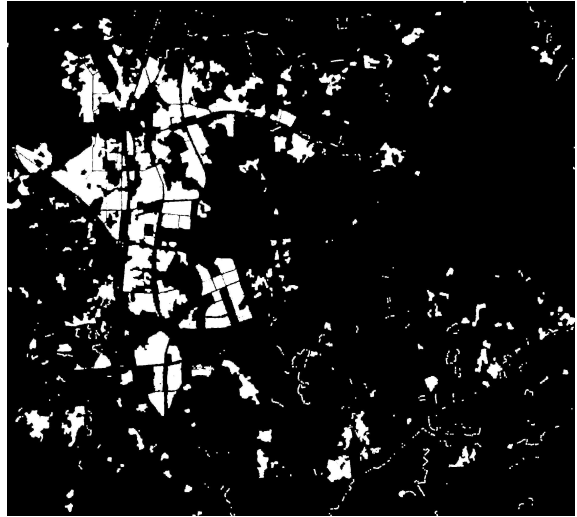


그림 10. 제안하는 토지피복도의 패치 기반 변화 추출 방법의 흐름도

Fig. 10. Flowchart of the proposed patch-based change detection of land cover map



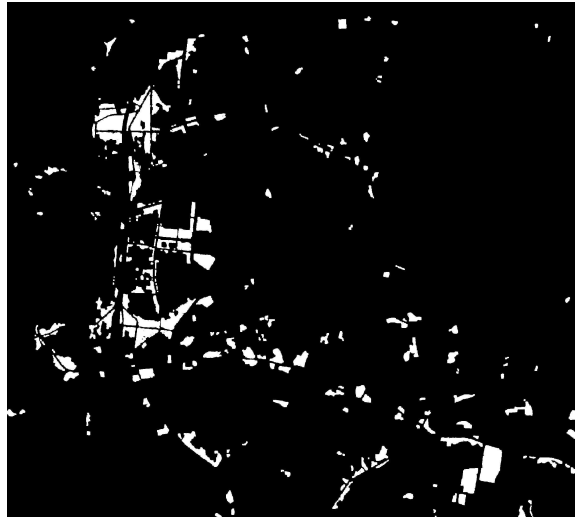
(a) Residential areas in 2007



(b) Residential areas in 2014



(c) Commercial areas in 2007



(d) Commercial areas in 2014

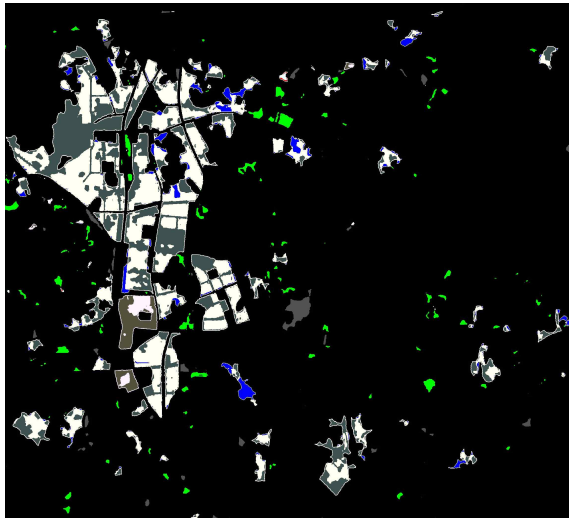


(e) Traffic areas in 2007

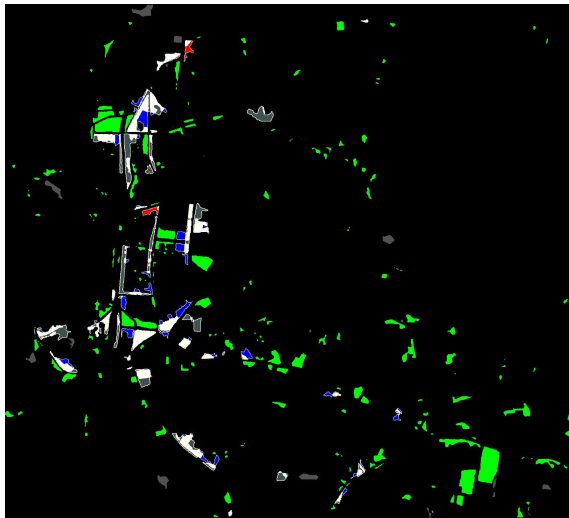


(f) Traffic areas in 2014

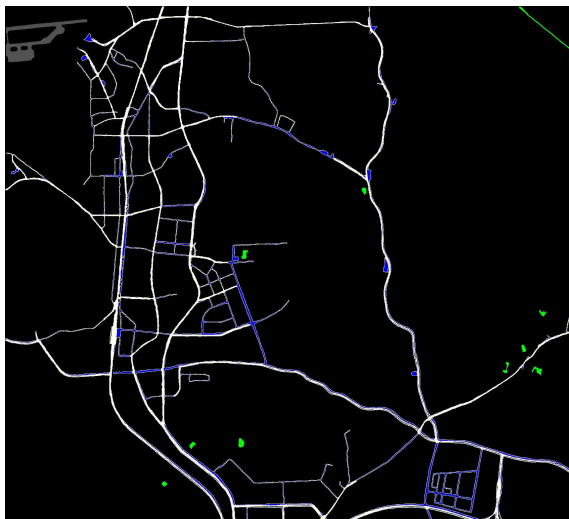
그림 11. Fig. 1의 패치 추출 결과
Fig. 11. Result of patch detection of Fig. 1



(a) Residential areas



(b) Commercial areas



(c) Traffic areas

그림 12. Fig. 11의 패치 매핑 결과
 Fig. 12. Results of patch mapping of Fig. 11

The number of patches is 333.
 The number of disappeared patches is 37.
 The number of created patches is 105.
 The number of unchanged patches is 0.
 The number of splitted patches is 5.
 The number of merged patches is 4.
 The number of complexly changed patches is 69.

1. The class occupies the majority in the land cover map. : YES -> NO
2. Big sized patches are included in the land cover map. : NO
3. The class is divided into many small patches. : NO
4. Big sized patches are closely placed. : YES -> NO
5. Patch are closely placed with the nearest patches. : YES
6. The distances with the nearest patches varies widely : YES
7. Patches are connected. : YES
8. The distances among patches are close. : NO
9. Patches are placed relatively straightforward. : YES
10. The shapes of patches are relatively round. : NO

(a) Residential areas (Fig. 12(a))

The number of patches is 323.
 The number of disappeared patches is 16.
 The number of created patches is 184.
 The number of unchanged patches is 1.
 The number of splitted patches is 4.
 The number of merged patches is 6.
 The number of complexly changed patches is 29.

1. The class occupies the majority in the land cover map. : NO
2. Big sized patches are included in the land cover map. : NO
3. The class is divided into many small patches. : NO
4. Big sized patches are closely placed. : YES
5. Patch are closely placed with the nearest patches. : NO
6. The distances with the nearest patches varies widely : YES
7. Patches are connected. : YES
8. The distances among patches are close. : NO
9. Patches are placed relatively straightforward. : NO -> YES
10. The shapes of patches are relatively round. : YES -> NO

(b) Commercial areas (Fig. 12(b))

The number of patches is 13.
 The number of disappeared patches is 1.
 The number of created patches is 11.
 The number of unchanged patches is 0.
 The number of splitted patches is 0.
 The number of merged patches is 0.
 The number of complexly changed patches is 1.

1. The class occupies the majority in the land cover map. : NO
2. Big sized patches are included in the land cover map. : NO
3. The class is divided into many small patches. : YES
4. Big sized patches are closely placed. : NO
5. Patch are closely placed with the nearest patches. : YES
6. The distances with the nearest patches varies widely : YES
7. Patches are connected. : NO
8. The distances among patches are close. : NO
9. Patches are placed relatively straightforward. : YES
10. The shapes of patches are relatively round. : NO

(c) Traffic areas (Fig. 12(c))

그림 13. Fig. 12(a-c)의 패치 변화 유형 결정 결과 및 패치기반 토지피복도 변화 추출 결과

Fig. 13. Results of patch change type determination and patch-based land cover map change detection of Fig. 12(a-c)

패치(주거지역)가 작은 파편처럼 넓게 형성(패치 매핑 2)되었다는 점은 전형적인 도시 스프롤(Sprawl)현상으로서 난개발이 점진적으로 진행되고 있음을 알 수 있다.

그림 12(b)의 상업지역의 경우는 시간의 경과에 따라 특히 시

가지 내의 상업지역은 기존 상권의 유지 또는 소멸이 혼재된 상태(패치 매핑 4), 그리고 기존 상권의 혼합적 변화에 의해 새로운 변환의 상태(패치 매핑 6) 등으로 인하여 최근(2014년) 상업지역의 기능이 크게 상실된 상황을 확인할 수 있다. 이 결과는 주거지역 결과와 연계해 볼 때 '기성시가지의 전형적인 쇠퇴현상'으로 해석할 수 있다. 한편 외곽에는 크고 작은 새로운 상업지역들이 생성(패치 매핑 2) 되고 있는 상황을 확인할 수 있다. 이 역시 도시 스프롤(Sprawl)현상과 관련이 있으나 부분적 생성 위치에 있어서는 교통 인프라와의 관련성도 배제할 수 없다.

그림 12(c)의 교통지역의 경우는 시간의 경과에 따라 시가지 중심지의 경우, 더욱더 촘촘한 교통지역의 생성(패치 매핑 2)으로 연결되었음을 알 수 있다. 시가지 전체를 감싸는 순환형 교통지역이 혼합적으로 확장(패치 매핑 6) 되어 교통 인프라 측면에서 도시 확장의 범위를 예측 가능할 수 있다. 한편 외곽의 생성된 교통지역과 상업지역의 새로운 패치들이 일부분 근접하고 있다는 점도 확인 할 수 있었다.

그림 13(a-c)는 그림 12에서 수행한 패치 매핑에 따른 패치 변화 유형별로 패치의 개수를 보여준다. 주거 지역(그림 12(a), 그림 13(a))은 축소와 확장이 동시에 일어난 혼합적 변화의 패치가 69개 존재한다. 큰 주거지역 패치가 작은 패치로 분할되며 도시 밀도가 낮아지며 난개발 현상이 나타나고 있음을 알 수 있

다. 상업 지역(그림 12(b), 그림 13(b))은 2014년에 184개의 패치가 새로 생성되며, 도로를 따라 직선적으로 배치되는 것을 확인할 수 있다.

또한, II장에서 설명한 토지피복도의 10개의 패치 기반 공간 분석 패턴의 변화를 추출하기 위해 각 시계열 토지피복도의 공간 분석 패턴을 이진정보로 저장하였다. 그림 13(a-c)는 10개의 공간 패턴의 변화를 보여주고 있다.

V. 토지피복도 공간구조 변화 분석 시스템

본 논문에서는 국토환경정보센터에서 제공하는 토지피복도(중분류) 영상데이터를 획득하여 실험영상으로 사용하였다[9]. 평택지역의 2007년과 2014년 토지피복도 영상을 사용하였으며, 토지피복도의 크기는 2298×2049이다.

제안하는 시계열 토지피복도의 패치 기반 변화 검출 시스템은 Intel(R) Pentium(R) CPU G4400 3.30GHz와 8GB RAM 메모리 사양의 Window 7 상에서 MFC와 OpenCV를 이용하여 개발되었다. 그림 14는 제안하는 패치 기반 공간구조 변화 검출 시스템을 보여준다. 시스템의 왼쪽에는 토지피복도 분석을 위한 메뉴가 배치되었는데, 픽셀 기반 분석과 패치 기반 분석을 선택할 수 있으며, 12개의 클래스(범례)를 선택하여 패치를 추출 및 분

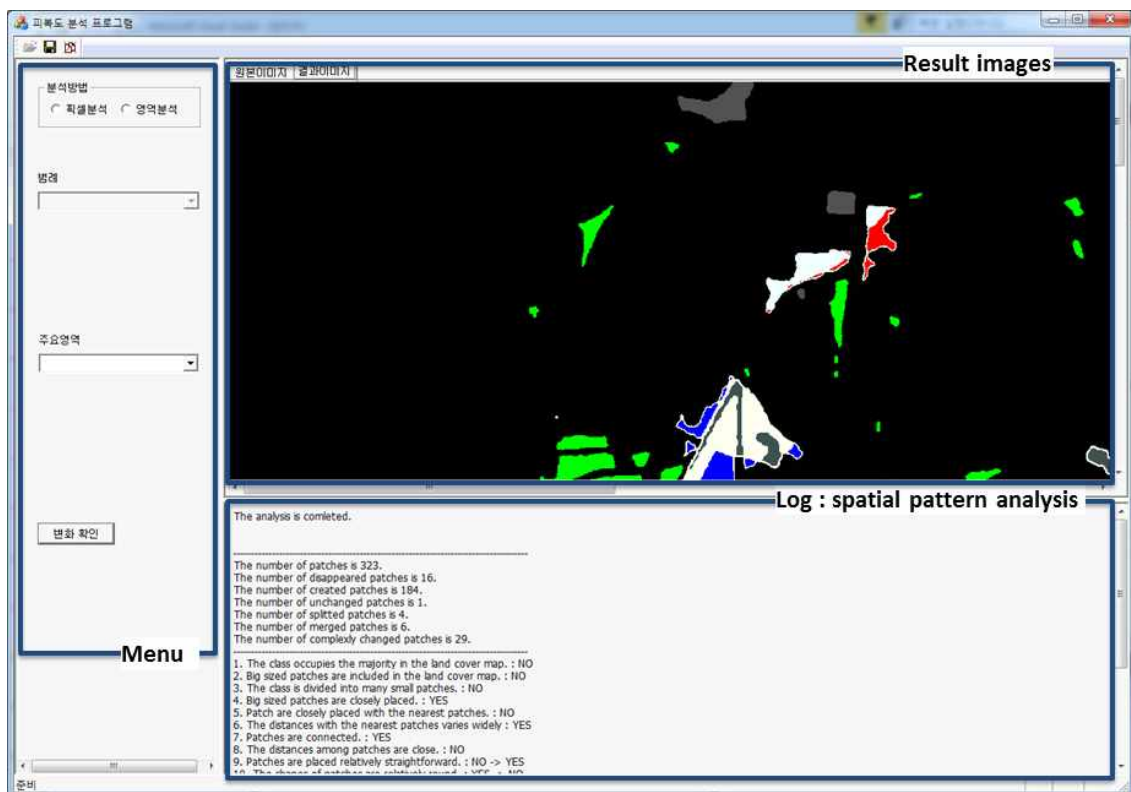


그림 14. 제안하는 시계열 토지피복도의 패치 기반 공간구조 변화 검출 시스템

Fig. 14. The proposed patch-based change detection system for time series land cover maps

석을 할 수 있다. 시스템의 오른쪽 상단은 실험 영상과 결과 영상을 보여주는 탭으로, 오른쪽 하단은 패치 및 패치의 공간 구조 패턴 변화를 분석한 결과를 보여주는 로그 창으로 구성되었다. 분석된 결과 영상과 로그 내용은 각각 이미지 파일과 텍스트 파일로 저장될 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 동일한 지역에 대해 서로 다른 시간에 촬영한 토지피복도에 대해 패치기반 매핑을 이용하여 공간 구조 패턴의 변화를 검출하는 시스템을 제안한다. 서로 다른 시간의 토지 피복도에 대해 패치를 검출하고 패치의 측정요소를 계산하여 공간구조 패턴을 분석한다. 검출된 시계열 패치 추출 결과에 대해 패치 매핑을 이용하여 변화된 패치를 매핑하고, 유지, 생성, 소멸, 분할, 병합, 혼합적 변환 등의 패치의 변화 유형을 결정한다. 또한, 시계열 토지피복도의 패치 기반 공간분석 패턴을 이진으로 저장하여 변화를 추출하였다. 특히, 패치 매핑 유형 결과와 공간구조 변화 패턴을 통해 도시 난개발 지표와 연계하여 난개발 정도를 확인할 수 있었다.

향후 과제로는 도시 공간구조 분석을 위하여 5개의 도시화 클래스들 간의 관계를 분석하는 연구를 수행할 예정이다. 특히, 도로와 나머지 4개 클래스인 주거, 공업, 상업, 문화-공공시설과의 공간구조 관계를 분석하고, 보다 정량화된 도시화(난개발) 지표를 개발할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업으로, 관계부처에 감사드립니다(No. NRF-2016R1D1A1B03933364).

참고문헌

- [1] H. W. Chung and J. I. Kim, "The spatial distribution of urban sprawl in metropolitan regions," *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 38, No. 5, pp. 7-20, 2003.
- [2] S. H. Kim, "Sustainable urban(region) development and so on," *Planning and Policy*, Vol. 236, pp. 49-49, 2001.
- [3] A. Singh, "Digital change detection techniques using remotely-sensed data," *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, No. 6, pp. 989-1003, 1989.
- [4] M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei, and D. Stanley, "Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 80(June), pp. 91-106, 2013.
- [5] S. Ross and H. S. Bhaduria, "A review of change detection techniques of landcover using remote sensing data," *IOSR Journal of Computer Engineering*, Vol. 17, no. 3, pp. 17-21, 2015.
- [6] Y. C. Lee, K. M. Lee and J. H. Chon, "Landscape mosaic pattern analysis system using land cover map for micro-spatial analysis of regional planning," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 18, No. 7, pp. 1367-1375, 2017.
- [7] G. Chen, G. J. Hay, L. M. T. Carvalho and M. A. Wulder, "Object-based change detection," *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 33, No. 14, pp. 4434-4457, 2012.
- [8] J. S. Kim, K. J. Lee and T. K. Whangbo, "Illumination influence minimization method for efficient object," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 14, No. 1, pp. 117-124, 2013.
- [9] National Environment Information Network System (NEINS). Available: <http://www.neins.go.kr>.



이영창(Young-Chang Lee)

2002년 : (일본)국립치바대학교 건축과확디자인분야 도시환경계획전공 (공학석사-도시환경계획)

2007년 : (일본)국립치바대학교 지구·인간환경과학분야 (공학박사-도시환경계획)

2016년~현 재: 고려대학교 오정에코리질리언스연구원 환경생태연구소 연구교수
※관심분야: 도시환경계획·설계, 도시공간(구조), 도시재생, 도시·지역개발, 조경계획 등



이경미(Kyoung-Mi Lee)

1996년 : 연세대학교 전산과학과(이학석사)

2001년 : 아이오와 대학교 전산학과(전산학박사-지능형 멀티미디어)

2003년~현 재: 덕성여자대학교 컴퓨터학과 교수
※관심분야: 영상처리, 패턴인식, 멀티미디어, HCI 등



전진형 (Jinhyung Chon)

1998년 : University of Pennsylvania (조경학석사)

2004년 : Texas A&M University (환경설계학박사)

2004년~2006년: Georgia Southern University 조교수
2006년~현재: 고려대학교 환경생태공학부 교수

※관심분야: Resilience, Green infrastructure, System Dynamics, Ecological Design 등