



야간 조명 인공위성 데이터를 활용한 북한의 개발현황과 변화 고찰*

Detecting Urban Development Patterns in North Korea Using Satellite Night Time Light Data

김정아** · 천상현***

Kim, Jung-a · Cheon, SangHyun

Abstract

One of the main problems of research on underdeveloped and developing countries is the lack of data to identify the development status or patterns of the countries. It is typically difficult to diagnose national development levels, economic growth, poverty, and human health conditions. Nighttime light is an indispensable source for identifying nighttime human and economic activities. The amount of night light can thus be used to diagnose regional development patterns, especially for underdeveloped countries that have limited data. This study presents a methodology to examine the development status and patterns in North Korea from 1992 to 2012 using Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System (DMSP-OLS) nighttime light data. DMSP-OLS has the advantage of being able to measure nighttime light intensity in an objective and systematic way because the satellite system collects the data with the same spatial resolution, filming methodology, and time zones over a long period of time. Our results show that more than 99% of North Korea's areas are extremely poor, and spatial inequality is also a serious issue. However, we found growing patterns of development in Pyong Yang, Shiniju, and Gaesung. We also identify other regional and urban development patterns that are difficult to detect using conventional data sources. The results of this study provide a basic understanding of North Korea's development and presents an effective way to monitor development patterns in North Korea.

주제어 야간 조명도 데이터, 인공위성, 저개발국, 도시성장, 북한

Keywords Nighttime Light Data, Satellite, Underdeveloped Countries, Urban Development, North Korea

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

저개발국 및 개발도상국과 관련한 연구에서 주요한 이슈는 국

가의 현황을 파악할 수 있는 데이터의 부재이다. 시간과 비용의 문제로 인해 신뢰성이 높은 데이터를 얻기 위한 대규모 자료조사를 수행하는 데 있어 국가 역량의 한계가 있다. 이러한 데이터의 부족은 경제성장, 빈곤, 건강 상태 및 환경 등 해당 국가들의 발전을 파악하기 어렵게 만든다.

* 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2016R1A2B4013843 및 No. 2020R1A2C2008443)이며, 2018학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음. 본 연구는 김정아(2018)의 석사학위논문 일부 수정·보완한 것임.

** Researcher, Seoul Institute (First Author: jung_a0315@nate.com)

*** Professor, Hongik University (Corresponding Author: scheon@gmail.com)

특히 북한의 경우, 폐쇄적인 특성으로 인해 국가의 현황 파악을 위한 기초 데이터는 더욱 부족한 실정이다. 일례로 통일부에서 제공하고 있는 북한 관련 데이터는 대부분이 추정치이고 정확한 수치를 파악할 수 있는 데이터는 2003년에 조사된 센서스 인구 현황이 전부이다. 2014년부터 국토지리정보원에서 북한지역의 수치지형도 및 위성지도를 민간에 공개하고 있으나, 이는 한 시점의 데이터이기 때문에 북한의 개발 및 도시화 변화를 파악하기 어려운 한계가 있다.

야간 조명은 도시 내 활동을 위한 필수 인프라로 도시 성장의 척도로 여겨지고 있다. 이로 인해 과거로부터 많은 연구자들은 야간 조명 데이터를 도시의 개발과 경제성장을 추정하기 위한 대리변수로서 사용하였다(Imhoff et al., 1997; Henderson et al., 2003; Small et al., 2005; Doll et al., 2006). 이처럼 인공위성을 통해 수집되는 야간조명도 데이터를 활용하면 대규모 자료조사에 시간과 비용을 감당하지 못하는 한계를 극복할 수 있다.

이 중 Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System(DMSP-OLS) 위성을 통해 수집되는 야간조명도 데이터는 1990년대부터 2010년대까지 데이터 취득이 가능하기 때문에 한 국가의 시간에 따른 경제성장 및 변화를 파악하는 데 유용하다. 또한, 해당 데이터를 활용하여 GDP나 인구 등의 사회경제적 변수를 추정할 경우, 공간정보를 함께 취득할 수 있어 지역에 해당하는 정보의 정량적 변화를 추정할 수 있다.

본 연구는 야간 조명도 데이터를 활용하여 북한지역의 개발 정도 진단을 위한 방법론을 제시하고 이를 바탕으로 1992년부터 2012년까지 20년간 북한의 성장 및 변화를 파악하는 것이 연구의 목적이다. 이를 위해 첫째, 인공위성으로 수집되는 야간 조명도 데이터를 수집하고 이를 처리하여 시계열 데이터로서 사용가능한 공간 데이터베이스를 구축하고 북한의 빛 밝기 등급을 산출하여 국가 전반적 성장패턴을 도출한다. 둘째, 지역별 빛 밝기 등급을 산출하여 행정구역별 발달양상과 불평등 정도를 측정한다. 마지막으로 북한 내 고성장지역을 도출하고 해당 지역의 성장패턴과 지역 특성을 파악한다.

II. 선행연구 고찰

1 야간조명과 인간활동

1) 경제활동과 야간조명 데이터

야간조명도 데이터를 사용한 도시 내 활동을 추정하는 연구는 다양한 주제로 진행되었다. 이 중, 지역 경제 수준을 유추하는 연구들이 대표적으로 진행되었으며, 주로 조명기구의 밀도와 집적도를 활용하여 지역의 경제활동을 유추하고자 하였다. 선행연구들을 통해 GDP(Gross Domestic Product) 및 GNP(Gross National Product)와 야간조명 간 높은 상관관계를 보이고 있다

고 언급되었으며, 특히 Elvidge et al.(1997)는 야간조명과 GDP 간 상관계수가 0.97임을 밝히며 해당 데이터를 GDP의 대리변수로서 사용 가능하다는 결론을 도출하였다. 이후 다양한 국가를 대상으로 진행된 연구를 통해 나타난 GDP와 야간조명 간 상관계수는 평균 0.8-0.9 정도이다(Doll et al., 2006; Forbes, 2013; Li et al., 2013).

이처럼 야간조명과 GDP 간 상관관계가 높은 수준인 것으로 나타나면서, 국가 경제발전 수준의 대리변수(Proxy)로 활용하여 국가 내 도시별 경제 발전 수준을 도출하려는 시도가 있었다(World Bank, 2020). 야간조명도 이미지와 토지피복 데이터 및 기타 지역데이터, 인구밀도를 혼합하여 공간별 경제성장 정도를 추정하였으며(Doll et al., 2000; Ghosh et al., 2010; Elvidge et al., 2012), 이 중 Elvidge et al.(2012)의 연구는 NLDI(Night Light Development Index)지수를 사용한 공간적 불평등의 추정 및 빈곤정도를 추정하고자 하였다.

2) 도시화와 야간조명데이터

개발도상국의 도시화를 진단하고 평가하는 것은 해당 국가의 경제성장을 평가하는 데 유용하다. 이 중 건축면적의 넓이는 도시화를 추정하기 위한 중요한 매개변수로 작용하게 되며, 야간조명도 데이터는 건축물 면적의 범위 및 변화를 효과적으로 도출할 수 있다고 언급되었다(Henderson et al., 2003; Small et al., 2005; He et al., 2006; Yang et al., 2011; Small and Elvidge, 2013; Zhou et al., 2014; Shi et al., 2014).

이 외에도 도시 집적의 시공간적 변화에 관한 연구가 진행되었다(Kyba et al., 2015). Yu et al.(2014)는 야간조명도 이미지의 공간 클러스터링 분석을 통해 중국의 주요 도시의 집적정도를 도출하였으며, Small and Elvidge(2013)는 야간 조명의 집적 정도에 따른 도시의 중심부를 도출하고 도시 간 네트워크의 변화를 도출하였다.

2. 북한 발전관련 연구동향

북한의 경제, 인구, 군사력, 기술 등 기초 현황을 파악하고자 하려는 시도는 과거부터 꾸준히 논의되었다(홍성범 외, 2002; 윤황 외, 2003; 윤병수, 2005; 홍성국, 2010). 해당 연구들은 주로 북한의 통신, 농업, IT기술 등 기초 인프라의 현황과 더불어 인구의 구조와 변화에 대해 기술하였다. 이 중 홍성국(2010)의 경우, 북한의 사회구조적 체제를 반영하여 2008년 인구센서스 조사 결과를 새롭게 분석하고 이를 통해 북한의 인구구조와 특징을 설명하고자 하였다.

북한의 도시화 특징과 과정을 설명하기 위한 연구는 북한 지방 도시의 대도시화 과정을 설명하는 연구(고성호, 1996)나 북한의 체제 전환에 따른 도시화의 추이 및 전망에 대해 논의하였다(장세

훈, 2006; 이유진, 2016). 또한 북한 도시의 내부구조에 관한 연구(Dormels, 2016)나 지방 대도시의 공간 구조의 변화를 통해 도시화 과정을 설명하고자 하는 시도가 있었다(장세훈, 2003). 특히 이유진(2016)은 2012년 김정은 정권의 집권 이후, 북한의 개발정책이 변화하고 있음을 언급하였으며, 주요 정책은 적극적인 경제특구 지정인 것으로 나타났다.

이처럼 인구, 경제, 도시화 등 국가 발전 현황 및 변화를 추적하고 규명하고자 하는 연구들이 다양한 방법으로 진행되고 있으나 대부분의 연구들은 북한 주민의 설문조사 또는 센서스 조사를 바탕으로 추정치를 사용하여 진행되었다.

3. 관련 데이터 현황

1990년대 이후 북한경제가 무너지고 국제기구들이 북한 내부에서 활동하면서 정량적 데이터가 축적되기 시작하였다(고명현, 2016). 북한 정권이 해당 기구들과 함께 식량실태 등 현지조사를 진행하면서 북한에 대한 사회과학, 인구학적 데이터가 수집되었으나, 국제기구 자체에서 진행된 조사가 아니라 북한당국의 용역을 받은 경우가 대부분이었기 때문에 신뢰도의 문제가 있다는 단점이 있다(Ingraham, 2015). '2013년 공공데이터법' 제정 이후 통계청 북한통계포털을 통해 환경, 농림수산업, 경제총량, 에너지 및 인구 등 다양한 사회경제지표를 나타내는 정량적 데이터를 취득할 수 있게 되었으나, 이는 주로 국가 수준의 지표 데이터로 지역적인 분석에 활용하기에는 한계가 있다.

공간데이터의 경우 남북 공동으로 작업하였던 조선향토 대백과가 대표적인 자료이나 이는 2006년 이후 수정되지 않아 시계열적 데이터 취득이 불가하다. 최근 정보를 반영한 공간데이터는 현재 북한정보포털 내 주제도 조회를 통해 가능하나 해당 자료는 참고자료로 이를 데이터화하여 사용할 수 없는 실정이다.

이처럼 일반 연구자가 접근할 수 있는 데이터의 종류와 양은 꾸준히 증가하고 있으나, 새롭게 접근이 가능한 데이터들은 주로 직접관찰 데이터가 아닌 대용지표(proxy indicator)이기 때문에 직접적으로 활용하기에는 한계가 있다. 데이터 축적에 주로 사용되는 탈북자 면담의 경우에도 탈북자의 지역, 인구학적 편향성 때문에 변화를 감지하고 정량화하기에는 쉽지 않다. 북한이 정보를 개방하지 않고 있는 상황에서 시-공간적 범위가 넓은 정량적 데이터를 축적할 수 있는 방안을 고찰하는 것이 선행적으로 필요하다.

본 연구에서는 선행연구의 방법론을 토대로, 북한의 지역 발전 및 도시화 정도를 진단하고자 한다. 북한의 경우 선행연구에서 사용되는 GDP 등 기초 사회경제적 지표를 나타내는 데이터들의 시계열적 데이터 취득이 어렵기 때문에, 야간조명 데이터만을 사용하여 발전정도를 측정하였다. 야간조명의 집적도 변화 및 확장 등을 통해 북한의 도시화 및 발전정도를 진단하였다.

III. 연구의 범위 및 방법

1. 분석의 자료 및 구축방법

본 연구에서는 1990년대부터 미국 해양 대기청인 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)에서 제공하는 DMSP-OLS stable lights composite(version 4)을 분석에 사용하였다(NOAA, 2012). 해당 데이터는 Defense Meteorological Satellite Program(DMSP) 위성에 탑재된 Operational Linescan System(OLS) 센서를 통해 데이터를 수집하며, OLS 센서는 가시광선 및 근시에 특화된 검출 능력을 가지고 있어 야간에 사용하는 인공조명을 식별하는 데 유용하다(Doll, 2008).

DMSP-OLS는 야간 조명 측정 시 해상도와 촬영방법, 시간대가 동일하기 때문에 객관적이고 체계적으로 야간조명을 측정할 수 있으며, 측정 과정에서 좌푯값이 부여되기 때문에 지리적으로도 명확하다는 이점이 있다.

데이터의 공간해상도는 30 arc-second로 중부원점 기준 1km*km이며, 1km² 그리드 내 수치는 Digital Number(DN)로 빛의 밝기에 따라 0에서 63사이의 값을 가진다. 숫자가 커질수록 밝은 지역을 의미하며 데이터가 없는 픽셀 값은 255로 처리된다. 해당 데이터는 매일 촬영되기 때문에 연도별 composite 과정을 통해 화재 등 일시적인 값은 제거되어 있는 상태이나, 데이터 수집 과정에서 데이터의 값이 보정(calibration)되지 않는 상댓값이기 때문에 측정 위성별, 연도별 데이터 값의 차이가 발생한다. 즉, 한 연도의 한 위성 데이터에서 나타내는 1이라는 값은 다른 연도나 다른 위성 데이터에서 1이 아닌 값으로 나타날 수 있다. 일례로 수집된 영상의 DN 총량 값 비교 결과 F14위성의 경우 다른 위성들에 비해 전반적인 값이 낮게 나타났으며, F15의 2003년 DN 값 또한 그 이전 해인 2002년에 비해 전체적으로 35% 하락된 것을 확인하였다(Doll, 2008). 이처럼 위성 간 값 차이를 극복하기 위하여 위성 값을 상호 보정(inter-calibration)하는 과정이 필요하다.

위성의 수명 문제로 인해 한 위성당 3-8년의 데이터를 수집하고 있으며, 연도별 위성 간 값의 차이를 극복하기 위하여 위성이 바뀌는 시기는 두 개의 위성으로 촬영되어 있다. 현재 취득 가능한 데이터 목록은 <Table 1>에 제시되어 있다.

본 연구에서는 위성 차이로 인한 데이터 값을 Elvidge et al.(2012)의 방법론을 사용하여 상호 보정하였다. 보정을 위한 사용 식과 보정상수는 식 (1)과 <Table 2>에 제시되어 있다.

$$X_{adj} = C_0 + C_1 * X_0 + C_2 * X_0^2 \quad (1)$$

이때, X_{adj} 는 보정된 DN 값이며, C_0 , C_1 , C_2 는 각각 보정 상수 값이다.

Table 1. List of DMSP-OLS dataset by satellite lens type

Satellite	Year
F10	1992 - 1994
F12	1994 - 1999
F14	1997 - 2003
F15	2000 - 2007
F16	2004 - 2009
F18	2009 - 2013

Table 2. Inter-calibration value

Satellite	Year	c0	c1	c2	r2
F10	1992	-2.0570	1.5903	-0.0090	0.9075
F10	1993	-1.0582	1.5983	-0.0093	0.9360
F10	1994	-0.3458	1.4864	-0.0079	0.9243
F12	1994	-0.6890	1.1770	-0.0025	0.9071
F12	1995	-0.0515	1.2293	-0.0038	0.9178
F12	1996	-0.0959	1.2727	-0.0040	0.9319
F12	1997	-0.3321	1.1782	-0.0026	0.9245
F12	1998	-0.0608	1.0648	-0.0013	0.9536
F12	1999	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
F14	1997	-1.1323	1.7696	-0.0122	0.9101
F14	1998	-0.1917	1.6321	-0.0101	0.9723
F14	1999	-0.1557	1.5055	-0.0078	0.9717
F14	2000	1.0988	1.3155	-0.0053	0.9278
F14	2001	0.1943	1.3219	-0.0051	0.9448
F14	2002	1.0517	1.1905	-0.0036	0.9203
F14	2003	0.7390	1.2416	-0.0040	0.9432
F15	2000	0.1254	1.0452	-0.0010	0.9320
F15	2001	-0.7024	1.1081	-0.0012	0.9593
F15	2002	0.0491	0.9568	0.0010	0.9658
F15	2003	0.2217	1.5122	-0.0080	0.9314
F15	2004	0.5751	1.3335	-0.0051	0.9479
F15	2005	0.6367	1.2838	-0.0041	0.9335
F15	2006	0.8261	1.2790	-0.0041	0.9387
F15	2007	1.3606	1.2974	-0.0045	0.9013
F15	2004	0.2853	1.1955	-0.0034	0.9039
F16	2005	-0.0001	1.4159	-0.0063	0.9390
F16	2006	0.1065	1.1371	-0.0016	0.9199
F16	2007	0.6394	0.9114	0.0014	0.9511
F16	2008	0.5564	0.9931	0.0000	0.9450
F16	2009	0.9492	1.0683	-0.0016	0.8917
F18	2010	2.3430	0.5102	0.0065	0.8462
F18	2011	1.8956	0.345	0.0030	0.9095
F18	2012	1.8750	0.6203	0.0052	0.9392

제시된 보정 값을 바탕으로 1992년, 2002년, 2012년 지역별 빛 총량 값(Sum of lights)을 지역의 면적으로 나눈 값을 사용하였다. DN 값이 0인 지역은 빛이 생산되지 않는 지역이기 때문에 분석에서 제외하였으며, DN 13 미만인 지역은 극 빈곤지역으로 정의하고(World Bank, 2014; Ellis and Roberts, 2015) 셀의 개수 변화를 선행적으로 확인하였다.

IV. 결과

1. 국가 전역 차원의 성장패턴

1992년부터 2012년까지 모든 시간 범위에서 북한지역의 99% 이상이 DN 값 13 미만으로 빈곤한 수준으로 나타났으며, DN 값 13 이상 지역은 1992년 0.3%, 2002년 0.3%, 2012년 0.5%였다. Ellis and Roberts(2015) 기준에 따라 13 이하 값을 제거할 경우 국토 전체 면적의 99% 이상이 제거되어 평양, 신의주, 개성 등 대도시 내 도심부의 변화만 확인 가능하기 때문에, 본 연구에서는 극 빈곤지역 기준치를 13 DN에서 10 DN으로 낮추어 분석을 진행하였다. <Figure 1>은 10 DN 미만을 제외한 북한의 빛 총량 변화 그래프이다.

빛 총량 변화 분석 결과 1992년부터 2012년까지 국가 전반적으로 약 38% 성장함을 보였다. 1992년부터 1998년까지 성장하다가 2004년까지 감소하였으며, 2006년 빛 총량은 크게 감소하였다가 2008년을 기점으로 다시 증가하였다.

DN 값의 등급별 변화를 확인하고, 등급별 셀 개수의 변화를 도출하여 북한 도시의 성장정도를 파악하였다(Figure 2). DN 값 10 이상인 셀의 개수는 1992년 681개, 2002년 1,062개, 2012년 1,309개로 꾸준히 증가함을 보였다. 2012년은 1992년과 2002년에 비해 빛의 전반적으로 밝기가 높은 등급의 셀 개수가 증가한 것 확인할 수 있었으며, 특히 DN 값 50 이상인 빛의 세기가 강한 셀의 개수는 2012년 71개로 1992년(33개)과 2002년(17개)에 비해 더 많이 집계되었다.

이를 공간으로 맵핑한 결과는 <Figure 3>에 제시되어 있다.

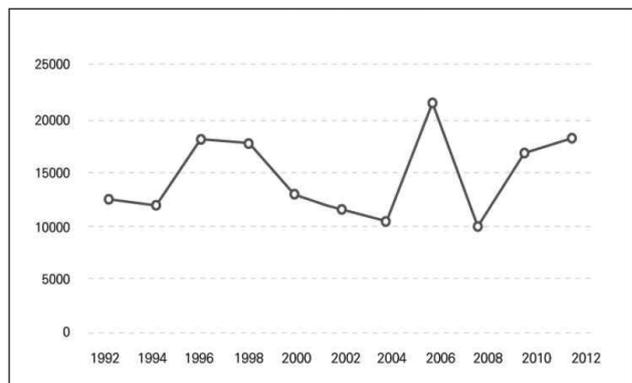


Figure 1. Change in Total Lights in North Korea

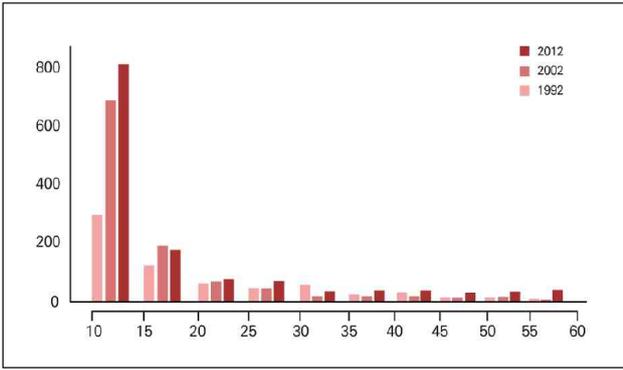


Figure 2. Number of grids by DN value range



Figure 3. Night light change in North Korea

색이 밝을수록 높은 DN 등급, 낮을수록 낮은 DN 등급 값을 나타내며 공간 확장을 확인하기 위하여 1992년, 2002년, 2012년 총 3개 연도를 각각 맵핑하여 비교하였다. 푸른 계열은 1992년, 녹색

계열은 2002년, 붉은색 계열은 2012년의 빛 분포를 나타내고, 색이 없는 지역은 DN 값 1-10사이의 극 빈곤지역을 나타낸다.

등급별 DN 그래프와 비교하여 유추하였을 때, 1992년부터 2012년까지 국가 전반적으로 성장하였으며 도시 공간 또한 확장되고 있음을 보여준다. 특히, DN 값이 50 이상인 셀 개수의 증가는 특정 지역이 급속도로 성장하고 있음을 나타낸다. 공간 분포 확인 결과, 높은 등급의 빛을 발생하는 대부분의 지역은 크게 평양, 신의주, 개성 일대로 세 지역 모두 1992년부터 2012년까지 지속적으로 개발지역이 확장되고 있었다. 특히, 평양의 경우 남-북 방향으로 도시가 확장되고 있음을 볼 수 있었으며, 신의주 지역의 경우에도 마찬가지로 룡천군, 신도군 등 주변지역으로 확장되는 패턴을 보였다.

2. 지역성장 패턴

1) 도별 면적대비 빛총량 구성의 변화

북한의 지역별 성장패턴을 도출하기 위해 우선 국가면적 대비 도별 면적 비율을 구한 후, 국가 총합 DN 값 대비 시·도별 DN 값의 비율(%)로 각 시·도의 DN 값 총량이 국가 전체의 몇%를 구성하는지를 도출하였다. 면적의 비율 대비 빛 DN 값의 구성비가 도별로 크게 차이 날 경우, 이는 국가의 공간적 불평등이 심각한 수준이라는 의미를 내포한다. 분석의 결과는 <Table 3>에 제시되어 있다.

북한 전역의 DN 총량 값은 1992년 36,805,584, 2002년 235,744,566, 2012년 394,733,302이며, DN의 총 평균값은 1992년 1,245, 2002년 2,520, 2012년 4,071로 확인되었다. 단위면적당 빛총량 값은 1992년 0,338, 2002년 2,154, 2012년 3,601로 나타났다.

1992년의 경우, 전체 면적의 2%를 차지하고 있는 평양이 전체 빛발생량의 약 38%, 전체 면적의 1%를 차지하고 있는 개성이 전체 빛 발생량의 13%, 전체 지역의 약 0.1% 면적을 차지하고 있는 신의주가 전체 빛 발생량의 4%로 세 지역의 합이 전체 빛 발생량의 약 56%를 차지하고 있어 국가 내 빛 발생량의 불균형이 심각한 것으로 확인되었다. 그러나 1992년 이후로 국토 전반적으로 성장하고 특히 2002년-2012년 량강도와 금강산 관광지구가 개발되면서 세 지역에 집중되던 빛 구성비는 2002년 10.16%, 2012년 8.8%로 감소하고 있었다.

이와 더불어 1992년에는 전체 빛 발생량 중 1.2%에 불과하던 량강도 지역이 2002년과 2012년에는 약 10% 이상을 구성함을 보이며 성장하고 있었으며, 금강산 지역이 관광특별구가 지정되면서 1992년 0이었던 빛 총량 비율이 2012년 0.9%로 증가하였다.

각 그리드별 빛의 값을 활용하여 공간적 지니계수(Gini coefficient)를 도출하여 보았을 때, 1992년의 계숫값은 0.9853로 완전 불평등에 가까웠으나, 2002년의 계숫값은 0.1732, 2012년의 계숫값은 0.1202로 점점 불평등의 정도가 완화되고 있는 것을 확인하였다.

Table 3. Ratio of Total DN value by administrative district

행정구역 Administrative districts	면적 (%) Area (%)	도별 빛 총량 비율 (%) Total DN value Ratio by administrative districts (%)		
		1992	2002	2012
		자강도 Jagang-do	15.153	2.045
함경북도 Hamgyeongbuk-do	14.362	12.305	11.705	12.299
함경남도 Hamgyeongnam-do	16.763	3.522	13.376	13.781
황해북도 Hwanghaebuk-do	7.470	2.756	5.671	6.072
황해남도 Hwanghaenam-do	7.831	1.200	6.206	6.421
개성 Gaeseong	1.069	13.822	3.870	3.001
강원도 Gangwon-do	9.288	6.140	10.117	8.760
금강산 Mt. Geumgang	0.895	0.000	1.226	0.942
평안북도 Pyeonganbuk-do	11.264	6.680	9.356	9.525
평안남도 Pyeongannam-do	11.303	6.673	9.225	9.706
평양직할시 Pyeongyang	2.462	38.225	5.376	4.870
나선특별시 Naseon	0.778	0.656	0.893	0.772
양강도 Yanggang-do	1.263	1.324	9.863	10.354
신의주 Sinuiju	0.099	4.651	0.920	0.967

2) 시군별 성장패턴

1992년, 2002년, 2012년 시·군별 빛 DN 값의 총합을 면적의 크기로 나눈 Sum of Light(SOL)/region 값의 등급별 비교를 통해 도시의 성장패턴을 도출한 결과는 <Figure 4>에 제시되어 있다. 하나의 그리드에 행정구역이 두 개 이상 중복될 경우, 각 격자 안의 빛이 모두 고르다고 가정 한 후 그리드당 차지하는 행정구역의 면적비로 나누어 계산하였다.

1992에서 2012년으로 갈수록 SOL/region 등급이 높은 값을 보이는 시·군 지역이 늘어나고 있음을 확인하였다. 1992년, 2002년, 2012년 모두 평양, 신의주, 개성 지역이 다른 지역에 비해 빛 발생량이 더 높고, 개발 정도도 크게 증가하고 있는 것으로 나타났다. 동해안에 위치한 단천, 김책시는 1992년에는 거의 개발되지 않았다가 2002년과 이후 성장하고 있는 것을 확인하였다. 또한, 신포, 청진 지역은 높은 수준은 아니나 지속적으로 주변 지역에 비해 빛 발생량이 높게 나타났고, 특히 나선과 함흥지역은 1992년 각각 0.5388, 1.9438의 값을 보였으나 2002년 3.675, 2.694로 빛 발생량이 증가하였다.

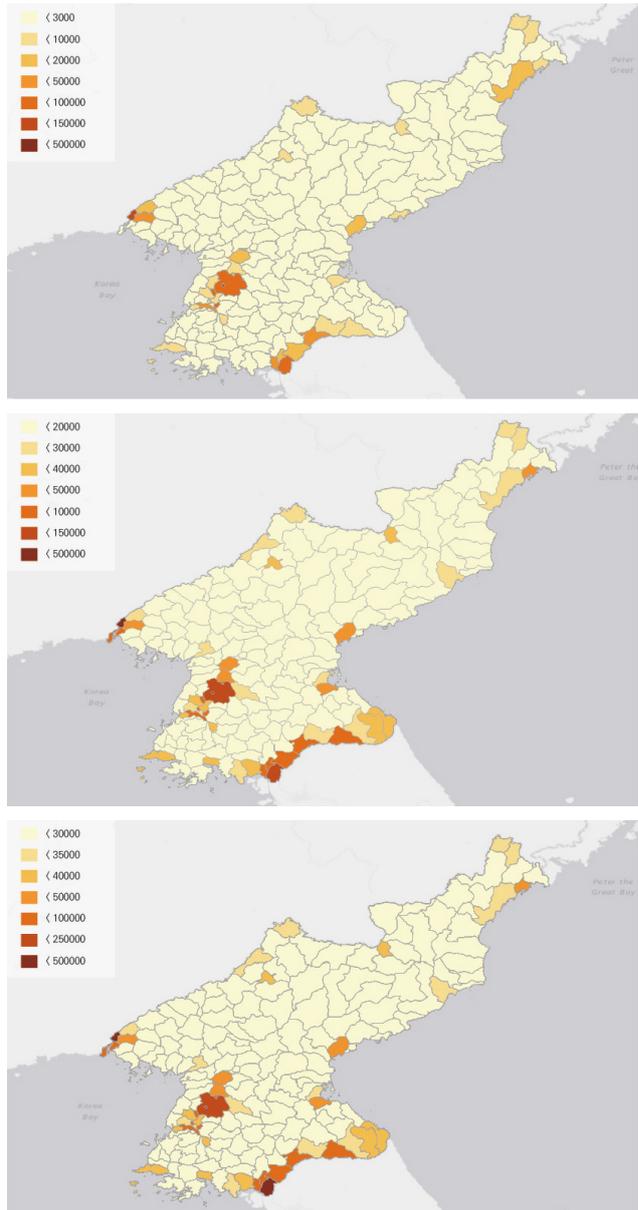


Figure 4. Change in Sum of Light(SOL)/region

한편, 중국 국경과 인접한 강계 지역은 1992년에는 개발이 거의 진행되지 않았던 상태였으나 2002년 이후로 성장하는 것을 확인하였다. 러시아 국경과 인접한 온성군과 새별군의 경우 1992년부터 개발이 되어 있던 상태이나 2002년과 2012년 모두 비슷한 등급 값을 가지며 지역의 개발정도가 유지되고 있는 것으로 나타났다. 지역 조사결과 성장 지역들은 대부분 산업단지가 입지해 있는 도시인 것으로 나타났다. 이에 산업단지의 정보를 기반으로, 산업단지 지역별 도시화 공간의 확장 및 성장패턴을 세부적으로 도출하였다.

3. 산업단지 입지도시 성장패턴

북한의 산업단지는 주로 중국과 러시아 경계 인접지역과 해안

지역 등 무역에 용이한 지역에 입지하고 있는 것으로 확인되었다. 이 중 신의주, 평양·남포 지역과, 해주, 나선, 청진, 함흥, 원산지역이 동-서 주축을 이루며 분포하고 있었다. 해당 산업지역들은 주로 기계나 화학섬유, 제지, 제강, 철강, 화학, 조선 등의 산업이 발달되어 있는 것으로 나타났다(장시형, 2014). 현재 운영 중인 북한의 산업도시 지역은 (Figure 5)에 제시되어 있다.¹⁾

SOL/region값의 변화를 분석한 결과는 (Figure 6)과 (Table 4)에 제시되어 있다. 분석의 결과 북한 대부분의 산업단지들이 모두 성장하고 있는 패턴을 보였으며, 특히 신의주, 평양, 개성을 중심으로 개발정도가 크게 증가하고 있었다.

1992년 대비 2012년 SOL/region 값이 가장 많이 증가한 곳은 평양으로, 평양직할시에만 모여져 있던 개발 지역이 평양직할시 전 지역으로 확대되며 전체적으로 증가하고 있는 패턴을 보였다.

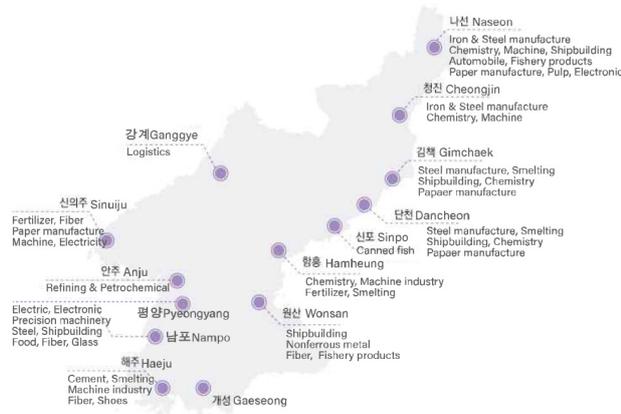


Figure 5. Industrial complexes and their major industries

신의주, 개성 등 서부지역이 증가율 약 81%, 62%로 북한 산업단지의 평균 증가율인 196%보다는 낮았으나, 증가 값은 354,523, 164,599로 평균 111,922보다 크게 증가하고 있는 것을 확인하였다.

중국 국경과 인접한 강계와, 나선 산업단지, 안주 산업단지가 그 뒤를 이어 크게 증가하였다. 반면에 남포, 김책, 단천, 신포, 해주, 원산지역의 경우 증가율은 180% 이상으로 크게 나타났으나 초기의 빛 발생량이 5,000 미만으로 현재지 적었기 때문에 실질적인 도시화나 개발정도가 크게 증가했다고 말하기 어렵다.

산업도시 입지 지역을 공간적으로 시각화하여 개발지역의 확장 및 개발 심화 정도를 도출한 결과는 (Figure 7)에 제시되어 있다. 푸른 계열의 원은 1992년, 녹색계열은 2002년, 붉은 계열은 2012년의 값을 나타내며, 원의 크기는 연도가 지날수록 작게 설정하여 겹쳐 보기에 용이하도록 하였다. 같은 그리드 안에 원의

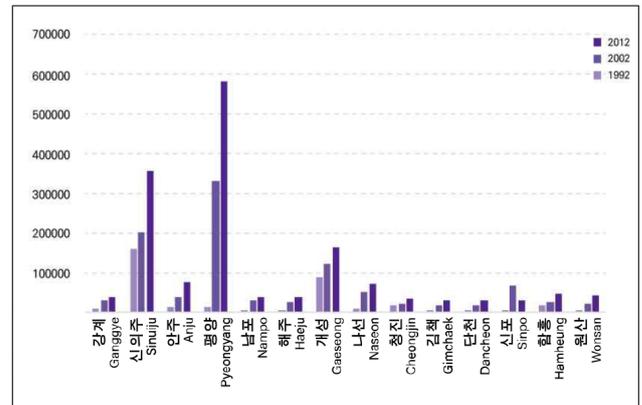


Figure 6. Change in SOL/region by industrial complex

Table 4. SOL/region value by industrial complex, 1992, 2002, 2012

도시 City	지역별 빛 총량 SOL per region			지역별 빛 총량 증가량 Net difference of SOL/region (DN)			지역별 빛 총량 증가비 DN(t+1)/DN(t) (%)		
	1992	2002	2012	92-02	02-12	92-12	92-02	02-12	92-12
강계 Ganggye	9250	28680	38619	19430	9939	29369	310.05	134.65	417.50
신의주 Sinuiju	157482	199676	354523	42194	154847	197041	126.79	177.55	225.12
안주 Anju	14021	39437	73555	25416	34118	59534	281.27	186.51	524.61
평양 Pyeongyang	14321	331233	579192	316912	247959	564871	2312.92	174.86	4044.35
남포 Nampo	4860	31549	38114	26689	6565	33254	649.16	120.81	784.24
해주 Haeju	2950	23420	37011	20470	13591	34061	793.90	158.03	1254.61
개성 Gaeseong	88528	119696	164599	31168	44903	76071	135.21	137.51	185.93
나선 Naseon	6579	52474	71370	45895	18896	64791	797.60	136.01	1084.82
청진 Cheongjin	19075	20822	34087	1747	13265	15012	109.16	163.71	178.70
김책 GimChaek	1291	17589	30963	16298	13374	29672	1362.43	176.04	2398.37
단천 Dancheon	561	15137	28224	14576	13087	27663	2698.22	186.46	5031.02
신포 Sinpo	4518	69061	28567	64543	-40494	24049	1528.57	41.36	632.29
함흥 Hamheung	18583	25779	46575	7196	20796	27992	138.72	180.67	250.63
원산 Wonsan	6291	22949	41512	16658	18563	35221	364.79	180.89	659.86

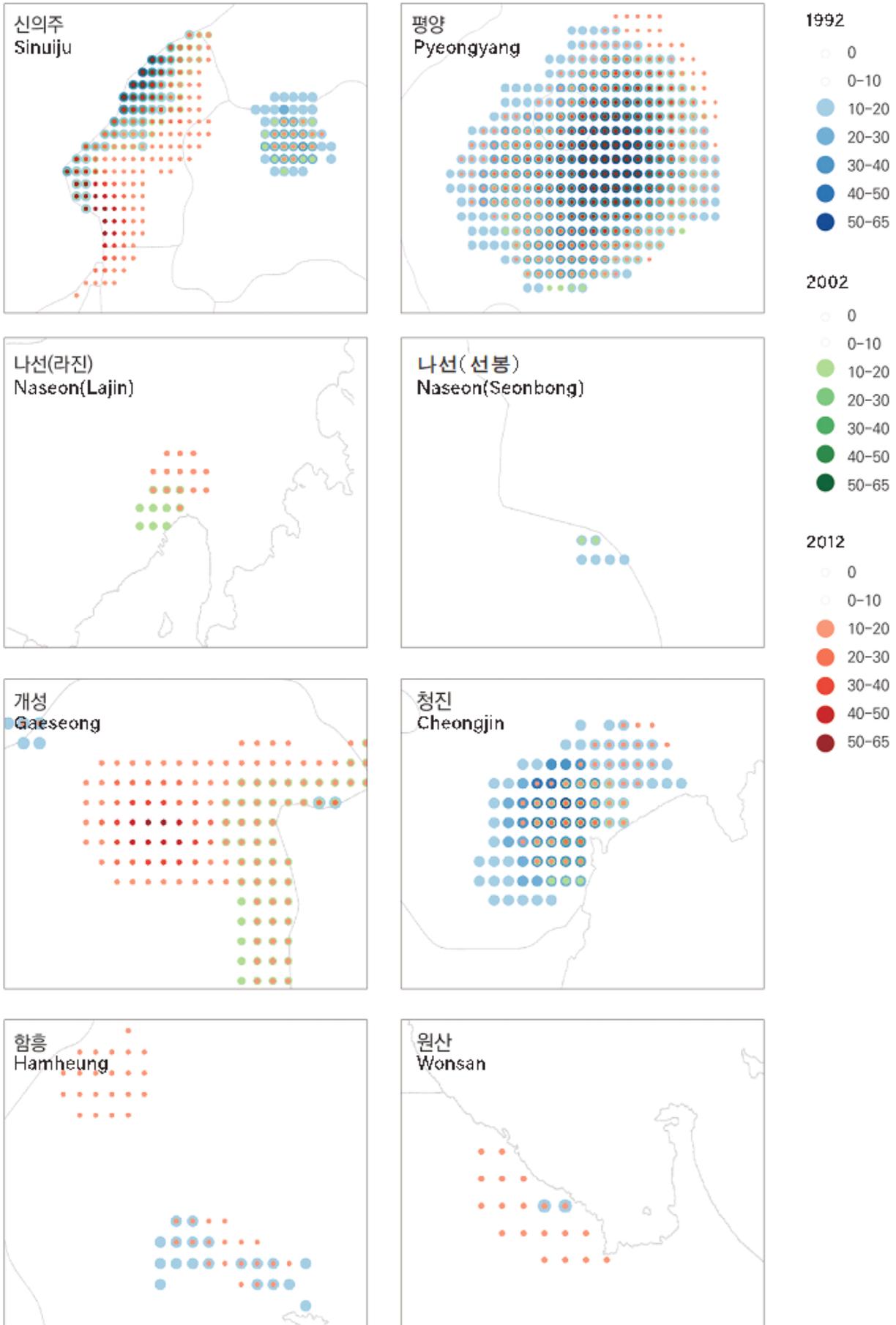


Figure 7. Change of growth pattern by industrial complex

색이 더욱 진해질수록 개발 또는 산업 활동 및 개발 정도가 더욱 심화되었음을 의미하며, 이전 연도를 나타내는 원은 없고 다음 연도에 새로운 원이 생겨 있을 경우 이는 공간적으로 확장됨을 의미한다.

예를 들어, 한 공간에 3개의 색 원이 모두 겹쳐 있고 색의 농도가 변화하지 않았다면 해당 지역은 1992년부터 개발되어 유지되고 있는 지역, 한 공간에 두 개 혹은 세 개의 원이 겹쳐져 있고 색의 농도가 변화하면 성장한 지역, 푸른색 원이 없던 지역에 붉은색 혹은 녹색의 원이 새롭게 나타났다면 해당 시기에 새로 개발된 지역이라고 해석할 수 있다. 전체적인 모양을 보았을 때 푸른색 원을 중심으로 주변에 녹색, 붉은색 원이 나타났다면 해당 지역은 공간적으로 확장하고 있는 지역으로 해석 가능하다(Table 5).

분석결과 지형의 제강, 제철, 기계, 조선 등의 산업이 입지한 서부 산업도시 지역이 동부 산업도시에 비해 더 많이 성장하고 있는 것으로 나타났으며, 신의주와 평양, 개성은 공간적으로도 확장하고 그 강도도 세지는 패턴을 보였다. 평양직할시의 경우 1992년에 비해 2012년 도시 내부의 개발정도가 심화되고 외부로의 공간 확장이 크게 일어나지는 않은 반면, 신의주는 개발지역이 국경까지 넓어지며 지역이 성장하는 패턴을 보였다. 개성의 경우 2007년에 본격적으로 운영되어 신의주나 평양에 입지한 산업단지에 비해 늦게 개발이 시작되었음에도 불구하고, 산업 활동 강도는 다소 높은 것으로 확인되었다.

동쪽 지형을 따라 형성된 나선-청진-함흥-원산 서부 산업단지 축에 비해 산업 활동 강도는 다소 약하게 나타나는 것으로 보였으나 개발 강도와 확장 지역이 1992년부터 2002년까지 지속적으로 증가하는 패턴을 보였다. 특히 청진지역의 경우 1992년부터 개발공간이 확장되면서 꾸준히 성장하고 있음을 확인하였으며, 나선과 원산지역은 1992년에는 개발지역이 없었으나, 2002년 이후

로 개발이 진행되기 시작한 신생 산업단지인 것으로 나타났다. 선봉지역의 경우, 1992-2002년 사이에는 산업 활동이 있었음에도 불구하고 2002년 이후 지역 개발이 둔화된 것으로 나타났다.

이처럼 북한의 지역성장은 산업의 종류와 지역특성에 따라 성장패턴이 다르게 나타나고 있었으며, 국경 인근지역의 경우 다른 지역에 비해 개발 강도가 높게 나타나고 있는 것으로 나타났다. 특히, 중국 접경지역인 만포, 강계, 신의주 및 남한과 인접해 있던 개성공단이 평양을 제외한 다른 지역에 비해 개발강도가 높게 나타나고 있었다.

V. 결론

야간 조명도 데이터에 기초한 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 1992년부터 2012년까지 20년에 걸쳐, 북한 내 99% 지역은 모두 극빈곤지역인 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 지난 20여 년간 국가 전반적으로 약 38% 빛 발생량이 증가하고 있었으며, 이 중 평양-개성-신의주 지역을 중심으로 성장하고 있는 것을 확인하였다. 이 외에도 중국 접경지역과 해안 지역을 중심으로 나선-청진-함흥-원산 지역의 산업단지 형성은 지역의 빛 발생량을 증가시키며 지역이 발전되는 패턴을 보였다. 둘째, 산업단지별 주요 산업에 따라 해당지역의 성장패턴이 다르게 나타났다. 지역 발전을 유도하는 주산업은 제강, 제철, 기계, 조선 등의 사업이었으며, 상대적으로 지역 발전을 덜 유도하는 산업으로는 식료품, 섬유, 제지, 유리 등으로 나타났다. 인근지역의 시장접근성 또한 산업단지 입지지역의 성장에 주요한 요소로 나타났는데, 중국과 접경하고 있는 신의주, 남한과 접경하고 있는 개성, 그리고 항구가 입지한 나선지역의 성장이 다른 지역에 비해 더욱 큰 것으로 나타났다.

본 연구 결과를 통한 시사점은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 현재 북한의 폐쇄적 특성으로 인해 사회·경제적 현황과 관련한 정보들이 모두 추정치로 제공되어 있는 상황에서, 본 연구의 결과는 정량적 시계열 데이터를 통해 북한의 도시화 및 발전패턴을 객관적으로 파악하는 시도를 했다는 것에 그 의미가 있다. 본 연구에서는 인공위성을 통해 수집되는 실측데이터를 활용하여 북한의 성장패턴과 개발의 동적변화를 추적했으며, 이는 향후 북한관련 연구들의 학문적 발달에 중요한 토대가 될 것으로 사료된다. 본 연구에서 소개한 데이터 취득법과 활용법은 향후 북한을 연구하는 데 있어 신뢰도 높은 정량적 데이터를 취득하는 데 도움이 될 것이다. 현재 인공위성을 통해 수집되는 데이터 계속적으로 취득 가능하며, 데이터가 정교화되고 있기 때문에 후속 연구를 통해 북한의 변화를 더욱 정교한 수준에서 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 일례로 본 연구에서 사용한 DMSP-OLS데이터와 더불어 2012년부터 NOAA에서 제공하고 있는 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite(VIIRS)데이터를 연계하여 사용할

Table 5. Example of interpretation

개발정도의 변화(색 농도의 변화) Change of urban development (Change of color intensity)	
과거연도 Past year (ex: 2002)	
최근연도 Recent year (ex: 2012)	
공간적 확장(빈 곳에 신규 빛 발생) Spatial extension (Lights appear in new region)	
과거연도 Past year (ex: 2002)	
최근연도 Recent year (ex: 2012)	

경우, 더욱 세밀한 공간 단위의 분석이 가능할 것으로 사료된다.

그러나 본 연구는 야간조명의 강도만을 가지고 경제활동의 대리변수로서 사용하여, 북한을 진단했기 때문에 지역의 성장패턴의 도출은 가능하나, 해당 성장이 실질적으로 가구의 소득이나 인구증가 또는 국민의 빈곤 탈피율에 대해서는 정확하게 고찰하지 못했다는 한계가 있다. 이는 추후 지역별 인구데이터의 접근이 가능할 경우 해당 연구를 진행할 수 있을 것으로 기대된다.

주1. 본 저자가 인용 자료를 일부 편집함. "통일 한반도의 산업지도", 이코노미조선(장시형, 2014년 2월 1일 수정, 2017/8/10 접속, <http://economychosun.com/client/news>)

인용문헌 References

- 고명현, 2016. "새로운 북한통계와 미래 연구 방향", 「KDI 북한경제리뷰」, 18(12): 59-62.
Ko, M.H., 2016. "New North Korean Statistics and Future Research Direction", *KDI Review of the North Korean Economy*, 18(12): 59-62.
- 고성호, 1996. "기획: 북한의 도시화와 통일한국의 도시계획; 북한의 도시화 과정과 특징", 「통일문제연구」, 8(1): 137-157.
Ko, S.H., 1996. "The Urbanization of North Korea and the Urban Planning of a Unified Korea: The Process and Characteristics of Urbanization in North Korea", *The Korean Journal of Unification Affairs*, 8(1): 137-157.
- 김정아, 2018. "야간조명 이미데이터를 활용한 도시개발 및 공해 진단기법", 홍익대학교 대학원 석사학위 논문.
Kim, J.A., 2018. Detecting Urban Development and Light Pollution Using Satellite Nighttime Light Data. Master Dissertation, Hongik University.
- 라이너도멜스, 2016. "북한도시의 내부구조에 관한 연구", 「북한학연구」, 12(2): 37-64.
Dormels, R., 2016. "An Analysis of the Internal Structure of North Korean Cities", *North Korean Studies*, 12(2): 37-64.
- 윤병수, 2005. "북한의 인적자원개발 현황과 향후과제", 「KDI 북한경제리뷰」, 7(10): 3-32.
Yoon, B.S., 2005. "Current Status of Human Resources Development in North Korea and Future Tasks", *KDI Review of the North Korean Economy*, 7(10): 3-32.
- 윤황·정진상·김수민, 2003. "북한의 인구구조에 관한 분석", 「북한연구학회보」, 7(1): 5-38.
Yun, H., Jeong, J.S., and Kim, S.M., 2003. "An Analysis on the Population of North Korea", *North Korean Studies Review*, 7(1): 5-38.
- 이유진, 2016. "북한의 경제특구 및 경제개발구 개발 현황과 전망", 「북한연구학회 동계학술발표논문집」, 209-223.
Lee, Y.J., 2016. "Development of Special Economic Zones and Economic Development Zones in North Korea", *The Korean Association of North Korean Studies Proceeding*, 209-223.
- 장세훈, 2003. "지방 대도시의 공간 구조 변화를 통해 본 북한의 도시화 과정- 청진, 신의주, 혜산을 중심으로", 「한국사회학회 사회학대회 논문집」, 95-121.
Chang, S.H., 2003. "The Urbanization Process of North Korea through the Change of Spatial Structure in Large Cities in the Region- Focus on Cheongjin, Sinuiju, Hyesan", *Korean Sociological Association Proceeding*, 95-121.
- 장세훈, 2006. "전환기 북한 도시화의 추이와 전망-지방 대도시의 공간구조 변화를 중심으로", 「한국사회학」, 40(4): 186-222.
Chang, S.H., 2006. "The Prospect and Trends of North Korean Urbanization in Transitional Era-Focusing on the Change of Spatial Structure in Metropolises", *Korean Journal of Sociology*, 40(4): 186-222.
- 장시형, 2014.2.21. "통일 한반도의 산업지도", 조선일보.
Chang, S.H. 2014, February 21. "Industrial Map for Unified Korea." ChosunIlbo.
- 홍성국, 2010. "1993/2008년 북한 인구센서스." 「북한학보」, 35(1): 109-143.
Hong, S.K., 2010. "1993/2008년 North Korea Census", *Journal of North Korea Studies*, 35(1): 109-143.
- 홍성범·임덕순·김기국, 2002. "북한 과학기술현황 및 정책동향 분석", 「과학기술연구원 정책 연구」, 1-280.
Hong, S.B., Lim, D.S., and Kim, K.K., 2002. "An Analysis of Science and Technology Status and Policy Trends", *Science and Technology Policy Institute*, 1-280.
- Doll, C.N.H., 2008. *CIESIN Thematic Guide to Night-time Light Remote Sensing and Its Applications*, Center for International Earth Science Information Network of Columbia University, Palisades, NY, USA.
- Doll, C.N.H., Muller, J.P., and Elvidge, C.D., 2000. "Night-time Imagery as a Tool for Global Mapping of Socioeconomic Parameters and Greenhouse Gas Emissions", *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(3): 157-162.
- Doll, C.N.H., Muller, J.P., and Morley, J.G., 2006. "Mapping Regional Economic Activity from Night-time Light Satellite Imagery", *Ecological Economics*, 57(1): 75-92.
- Ellis, P. and Roberts, M., 2015. *Leveraging urbanization in South Asia: Managing Spatial Transformation for Prosperity and Livability*, World Bank, Washington, DC: World Bank.
- Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Kihn, E.A., Kroehl, H.W., Davis, E.R., and Davis, C.W., 1997. "Relation between Satellite Observed Visible-near Infrared Emissions, Population, Economic Activity and Electric Power Consumption", *International Journal of Remote Sensing*, 18(6): 1373-1379.
- Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Anderson, S.J., Sutton, P.C., and Ghosh, T., 2012. "The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data", *Social Geography*, 7(1): 23-35.
- Forbes, D.J., 2013. "Multi-scale Analysis of the Relationship between Economic Statistics and DMSP-OLS Night Light Images", *GIScience & Remote Sensing*, 50(5): 483-499.
- Ghosh, T., Powell, R.L., Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Sutton, P.C.,

- and Anderson, S., 2010. "Shedding Light on the Global Distribution of Economic Activity", *The Open Geography Journal*, 3(1): 147-160.
21. He, C.Y., Shi, P.J., Li, J.G., Chen, J., Pan, Y., Li, J., Zhuo, L., and Ichinose, T., 2006. "Restoring Urbanization Process in China in the 1990s by Using Non-radiance-calibrated DMSP/OLS Nighttime Light Imagery and Statistical Data", *Chinese Science Bulletin*, 51(13): 1614-1620.
 22. Henderson, M., Yeh, E.T., Gong, P., Elvidge, C., and Baugh K., 2003. "Validation of Urban Boundaries Derived from Global Night-time Satellite Imagery", *International Journal of Remote Sensing*, 24(3): 595-609.
 23. Imhoff, M.L., Lawrence, W.T., Elvidge, C.D., Paul, T., Levine, E., Privalsky, M.V., and Brown, V., 1997. "Using Nighttime DMSP/OLS Images of City Lights to Estimate the Impact of Urban Land Use on Soil Resources in the United States", *Remote Sensing of Environment*, 59(1): 105-117.
 24. Kyba, C., Garz, S., Kuechly, H., de Miguel, A.S., Zamorano, J., Fischer, J., and Hölker, F., 2015. "High-resolution Imagery of Earth at Night: New Sources, Opportunities and Challenges", *Remote Sensing*, 7(1): 1-23.
 25. Li, X., Xu, H.M., Chen, X.L., and Li, C., 2013. "Potential of NPP-VIIRS Nighttime Light Imagery for Modeling the Regional Economy of China", *Remote Sensing*, 5(6): 3057-3081.
 26. Liu, Z., He, C., Zhang, Q., Huang, Q., and Yang, Y., 2012. "Extracting the Dynamics of Urban Expansion in China Using DMSP-OLS Nighttime Light Data from 1992 to 2008", *Landscape and Urban Planning*, 106(1): 62-72.
 27. Shi, K.F., Huang, C., Yu, B.L., Yin, B., Huang, Y.X., and Wu, J.P., 2014. "Evaluation of NPP-VIIRS Night-time Light Composite Data for Extracting Built-up Urban Areas", *Remote Sensing Letters*, 5(4): 358-366.
 28. Small, C., Pozzi, F., and Elvidge, C., 2005. "Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights", *Remote Sensing of Environment*, 96: 277-291.
 29. Small, C. and Elvidge, C.D., 2013. "Night on Earth: Mapping Decadal Changes of Anthropogenic Night Light in Asia", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 22: 40-52.
 30. World Bank, 2014. *Leveraging Spatial Development Options for Uttar Pradesh*. World Bank Group. Washing ton, DC.
 31. World Bank, 2020. *Vietnam's Urbanization at a Crossroads: Embarking on an Efficient, Inclusive, and Resilient Pathway*, World Bank Group. Washington, DC.
 32. Yang, Y., He, C.Y., Zhao, Y.Y., Li, T., and Qiao, Y.W., 2011. "Research on the Layered Threshold Method for Extracting Urban Land Using the DMSP/OLS Stable Nighttime Light Data", *Journal of Image and Graphics*, 16(4): 666-673.
 33. Yu, B., Shu, S., Liu, H., Song, W., Wu, J.P., Wang, L., and Chen, Z.Q., 2014. "Object-based Spatial Cluster Analysis of Urban Landscape Pattern Using Nighttime Light Satellite Images: A Case Study of China", *International Journal of Geographical Information Science*, 28(11): 2328-2355.
 34. Zhou, Y.Y., Smith, A.J., Elvidge, C.D., Zhao, K.G., Thomson, A., and Imhoff, M., 2014. "A Cluster-based Method to Map Urban Area from DMSP/OLS Nightlights", *Remote Sensing of Environment*, 147(5): 173-185.
 35. Ingraham, C., 2015. "Satellite Data Strongly Suggests That China, Russia and Other Authoritarian Countries Are Fudging Their GDP Reports", Accessed May 2, 2019. <https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2018/05/15/satellite-data-strongly-suggests-that-china-russia-and-other-authoritarian-countries-are-fudging-their-gdp-reports>
 36. NOAA National Geophysical Data Center, 2012. "Version 4 DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series", Accessed June 10, 2012. <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html>

Date Received	2019-01-21
Reviewed(1 st)	2019-03-12
Date Revised	2020-08-31
Reviewed(2 nd)	2020-09-13
Date Accepted	2020-09-13
Final Received	2020-10-07