

The Impact of passenger volume and transportation revenue change following the Implementation of the City Bus Quasi-Public Operation System

- Focusing on the BRT system of Busan City –

Seong, Wooyong*, Kang, Jaeho**

Abstract

The purpose of this study is to analyze the effectiveness of city bus policies. City buses are a means of transportation closely related to the lives of the common people. The city bus fare has been restrained from increasing for the sake of stabilizing the economy of the common people. As a result, the Quasi-Public Operation System was implemented, in which the portion of the operating deficit was filled with public funds. Through the implementation of the Quasi-Public Operation System, local governments could maintain the policy that guarantees the transportation rights of the disadvantaged, operation of low-floor buses for the disabled, and discount on fares for the elderly, children and youth, etc., as part of realizing a welfare society for the underprivileged in our society. In the case of BRT, the purpose is punctuality and promptness, and efficient operation to increase the number of users can bring positive effects. If the punctuality and promptness of city buses are secured, there will be an inducement effect for users. For the analysis, 71 non-BRT section routes in Busan and 12 routes in the experimental group BRT section were selected and PSM analysis and Fixed effect analysis were performed.

In the effect analysis of the BRT section in Busan, the number of users increased by 73,600 for three years from 2017 to 2019 in the case of PSM near-neighbor matching, and by 73,300 in kernel matching. In logarithmic revenue, 0.09 (9%) increased for PSM near-neighbor matching, and the same 0.09 (9%) increased for kernel matching.

Key words : *Quasi-Public Operation System, City Bus, Bus Rapid Transit(BRT), PSM,*

* Lead author

E-mail : seong7799@naver.com

Ph.D. earned at: Pusan National University

Current position: Pusan National University graduate student

** Corresponding author

E-mail : kang-adm@pusan.ac.kr

Ph.D. earned at: The University of Tokyo

Current position: Professor, Department of Public Administration, Pusan National University

Received : August 5, 2021, Revised : August 19, 2021, Accepted : August 29, 2021

I . Introduction

1. Problem raising and research purpose

City buses are an important means of transportation closely related to the lives of city residents. The advantage of city buses as public transportation over urban railroads in terms of guaranteeing the right of movement for ordinary people is that Routes can be easily connected to residential spaces. This is because there is no initial investment capital compared to the subway, which is built with a huge budget.

However, due to an increase in the number of passenger cars, a rise in labor costs, and an increase in fuel costs, the number of routes with losses has increased. And City bus companies have restricted the mobility of the common people by closing or reducing the routes of these deficits. As a way to overcome this, local governments implemented the Quasi-Public Operation System, which compensates for the loss of the city bus industry with public funds.

The implementation of the city bus quasi-public operation system has received positive evaluations in terms of the stable supply of public transportation services, the suppression of passenger car operation, and the enhancement of the sustainability of the urban transportation system (Park Jun-hwan, 2009). However, although local governments are providing financial support in the public interest, the scale is increasing every year, so there was a public opinion that the implementation of the city bus quasi-public operation system should be stopped. Therefore, if public funds are being used as means to secure the public interest, it must be evaluated.

The general effect of the Bus Rapid Transit (BRT) section of the city bus semi-public system policy is to save operating time, It is accepted that there will be an effect of improving profitability by securing punctuality, stability, convenience, productivity, and increasing number of passengers. In order to shorten the bus operation time, it is necessary to provide a non-stop pattern by analyzing the speed of the bus route and the residence time of the bus stop. The most important factor is that in order to attract passengers, the operating time must be shortened and the operation must have continuity. The purpose of the BRT section is to shorten the operating time and improve punctuality. In addition, the increase in passengers due to the BRT section and the close ties with the sub-central area increase the possibility of development such as the development of surrounding areas. The BRT section provides such transportation infrastructure (Levinson, H.S., 2007). From this point of view, it is necessary to find out how much BRT is achieving the city bus passenger attraction.

The purpose of BRT is to ensure smooth public transportation flow and punctuality by allowing only buses to travel on exclusive roads, such as the bus center lane. To change the transportation system of roads by spending a lot of money like this is to give priority to public transportation. That is how much performance is being achieved in terms of operation performance compared to input, and there will be intangible effects not only of transportation income, but also of raising public awareness of public transportation and providing convenient transportation services. The goal of the semi-public city bus operating system, such as BRT, is to improve the efficiency of city bus operation as a public transportation system (Lee Won-gyu et al., 2006).

Although subsidies from local governments are being paid every year to maintain the operation of city buses, the scale is increasing every year, so the seriousness is emerging. Therefore, it is necessary to seek ways to reduce the deficit while enhancing the public interest of city buses (Hyeonjin Ahn, 2010). A large amount of budget was invested in the implementation of the BRT. It is necessary to verify through empirical analysis how effective the policies implemented with these budgets are. Here, the performance evaluation is intended to analyze and evaluate the effect of BRT policy in Busan. Based on this, it is intended to serve as a basis for finding efficient operation methods for Gwangju City and other local governments that want to introduce BRT in the future.

2. Research scope and research methods

The spatial scope of this study is aimed at Busan among major cities that are implementing the quasi-public management system for city buses. Currently, BRT is being implemented in Seoul and Daejeon, including Busan, but Seoul has already implemented BRT in many sections, and in the case of Daejeon, only one section is being implemented. It is judged that it is most appropriate to analyze the operation performance of Busan, which has been implemented in earnest since then, for the past three years.

The implementation of BRT in Busan started in December 2016, but the full-scale implementation can be seen in January 2017. Based on the time of BRT implementation, we want to measure the performance by dividing it into before and after. As for the BRT implementation section, the evaluation of the route differs depending on the ratio of the city bus routes operating the BRT section operating this section, so the experimental group was selected in consideration of this.

Among the routes operating between Naeseong Intersection and Jungdong Station in Busan, and between Naeseong Intersection and Gwangmugyo, the BRT section occupies more than 10% of the 12 routes for 3 years from 2017 to 2019 after the policy, 2015 to 2016 Until the year before the policy. However, the BRT section operation ratio is different from the total distance traveled on the route by examining all BRT sections. The ratio of operating the BRT section ranges from 0.5% to about 23.72%. Therefore, routes with more than 10% of the BRT section operating occupancy were selected as the experimental group for analysis. As a result, 12 routes for the experimental group and 71 bus routes for the control group that do not operate BRT sections were determined for the impact analysis of the BRT project, and then the propensity score matching technique was performed.

The government and administrative agencies judge policy effects by the added value obtained by participating in program evaluation to measure policy effects (Rubin, DB 2001). Performance obtained in case of non-participation The result obtained by program participants if they did not participate in the program, as a counterfactual, can be said to confirm the difference (Heckman, et al., 1997). In other words, the difference in the performance of policy intervention is the difference between the performance of the city bus after the implementation of the BRT section and the operating performance assuming that the BRT in the same BRT section is not implemented. However, in order to evaluate the effect of the BRT section, it is impossible to check the performance of the BRT section when the BRT section is not implemented. You have to select a section and try to match it.

Selection of similar non-BRT sections should be randomly extracted according to the randomization method using the propensity score matching (PSM) technique. At this time, a problem of sample selection bias occurs between the BRT section and the similar non-BRT section. This bias in sample selection is caused by the heterogeneity between the BRT and non-BRT sections, and is caused by various causes when selecting the non-BRT section (Rubin, 1974; Rubin, 1978; Garen, 1984).

PSM (Propensity Score Matching) tendency to compare and analyze characteristics after matching similar routes under the same conditions of policy non-implementation as a method to make the basic inclinations between the policy enforcement group and the policy non-implemented group similar for correct policy evaluation Score matching, first suggested by Rosenbaum & Rubin (1983), represents the conditional probability of receiving support given the characteristics of the target receiving policy support. Therefore, the BRT section and the non-BRT route matched by the propensity score have the same distribution, so that the sample selection bias can be minimized like in a randomized experiment. The purpose of this study is to investigate the effect of the BRT section policy on the operation performance through the method. The effect of the project in the BRT section can be found by comparing the difference between when the bus routes operating this section received policy and when they did not.

II. Theoretical Background and Prior Research

1. Discussion on the nature of public goods for public transportation

The question of whether a particular service provider should be the public or private sector has always been a subject of interest. However, the content, meaning, and scope of public/private differ depending on the living situation of each society, and whether the virtues of political life or personal life values are abundant and essential, or the normative importance of these virtues and values. It may depend on whether you did it or not. It can be seen that public transport has public characteristics from any aspect, such as a public/private divisional perspective, a normative perspective, and a cultural cognitive perspective. Even if it is limited to bus transportation services, if government resources are put into non-profit routes, the government has influence with authorization, and citizens perceive it as a public service, then bus transportation can be viewed as having a public character (Heinrich and Fournier, 2004).

2. Paradigm change of public service for City bus

City buses are one of the pillars of public service that guarantees the mobility of city residents as public transportation. The location of the stop where the city bus routes reach is selected in consideration of the mobility of the population, but sometimes it induces the movement of the population (Kari Watkins. et al., 2020). On the other hand, the stop of the policy route is installed to guarantee the minimum right of movement in order to consider the transportation vulnerable in the outskirts of the city center or in underdeveloped areas. In fact, Kari Watkins (2020) experimented with the change in the number of passengers according to

the level of public transportation service. It was confirmed that the quantity and quality of public transport services provided to passengers are important levers that public transport agencies can influence on public transport users.

In addition, city residents claiming public ownership rights for city public services such as city buses means that the bus company has the ownership, but does not have the right to operate routes, the principle of competition does not work, and the logic of the market economy does not work. This is because local governments are paying huge subsidies for the project. The meaning of public ownership of city buses is an ideology aimed at reducing the financial burden on local governments and providing convenience and quality services to citizens.

Public ownership can be divided into two areas. One is 'political fairness' as the ideal ideology of the government related to equality of opportunity and liberal democracy, and the other is 'economic fairness' in terms of welfare or supply of goods that citizens need in daily life. . They are closely related to each other and together form the sum total of human justice as 'social justice', which includes all human relations to the ideal community (Todd, 1918). This theoretically supports the city bus quasi-public management system.

In the public transport sector, some countries still view the local city bus operation system as a role of public administration in consideration of its characteristics. It is believed that city bus public transport services should be provided in accordance with the competence of the competent public administration accompanied by executive power to perform the role of providing public services in an effective and efficient manner (Zatti, 2012).

3. Prior research related to BRT project

Eun Cheol-gyu (2009) derived the optimal lane width from the cross-sectional design type of the intercity map following the introduction of the exclusive median bus lane and the BRT system. Based on this, the scope of the study was set to construct various cross-sections, and a correlation model of traffic accidents and lane widths was established for each road type with the main purpose of research on the construction of cross-sections of inter-city routes considering the BRT system. The range and minimum lane width were suggested, and alternatives were prepared according to the change in width within the range of the appropriate lane width.

Kim Seong-eun (2019) analyzed the current state of BRT operation in order to understand the current state of operation of BRT at the time when BRT was introduced in Busan. He built a cognitive model of citizens by deriving influence relationships according to the characteristics of citizens' responses using multidimensional scaling.

Na Geum-hwan (2011) identified the influencing factors revealed in the implementation of the metropolitan BRT pilot project policy. As a research method, the subject of the study analyzed the problems that occurred in the case of the Seoul-Hanam BRT route and the Cheongna-Gangseo route implemented as a metropolitan BRT pilot project by the Metropolitan Transportation Headquarters, and deduced the factors that affected the policy implementation. did.

Lee Hoon-gi and Kim Jong-hak (2005) analyzed changes in travel behavior through a

questionnaire survey of wide-area bus users before the introduction of BRT in large cities. Changes in the transportation mode share ratio according to toll policy scenarios were estimated.

Kim Jong-jin (2012) reviewed the suitability of introducing BRT routes by examining alternative BRT routes in Busan's urban rail plan. By estimating the future public transportation demand, we will overcome the limitations of road supply in the urban railroad planned route and overcome the current limited transportation infrastructure through feasibility analysis with the benefits that occur when implementing the urban railroad planned route according to the urban railroad master plan and introducing the arterial express bus. By introducing a new transportation system that can be utilized to the fullest, the feasibility of introducing a trunk express bus in which the advantages of railroads and buses are properly harmonized on major arterial roads in Busan and Ulsan metropolitan areas was analyzed.

Han Jong-hak (2011) examined whether the city bus route is positioned as a city bus route that matches the citizen's traffic pattern at the time of one year after the start of the express bus service, which was promoted along with Incheon's implementation of the 'Incheon-style semi-public operation system'. necessity was highlighted.

Through previous studies, it can be seen that various studies have been conducted on the system improvement and efficiency of semi-public city buses. In particular, most of the research related to the BRT project was at the level of pointing out technical problems in the operation of the site, suggesting improvement plans, or analyzing satisfaction, influencing factors and feasibility.

This study intends to analyze the policy results following the implementation of the BRT system, which was implemented as a policy to increase the efficiency of city bus routes and induce users after the completion of the public bus system. The previous studies related to BRT examined so far have mainly focused on improvement measures in terms of technology and citizens' responses to BRT, but there are few cases in which policy effects in terms of behavior are properly measured. An empirical analysis of how effective the policies are is needed, and this study seeks to empirically verify the effectiveness of the BRT section policy. If the policy effect has been positively verified, the expansion of the system can be considered according to the conditions and circumstances of each city.

III. research design

1. Data collection for impact analysis

For data related to BRT routes, request the bus route for the BRT section you want to analyze through a request for disclosure of information about the BRT section to the city hall among 134 routes in Busan, and search for route information through the BIMS (bus information system) of each city hall. It was compared with the data requested for disclosure of information. And, excluding missing values and overlapping routes from the approved routes for each year in each city, only routes in

which the route conditions were maintained consistently for five years were extracted. There were missing values and overlapping routes in 10 excluded routes out of 144 routes in 2018 and 11 out of 145 routes in 2019.

Finally, 134 routes were used as the population, and data for each variable required for analysis were organized. Here, 51 routes, excluding 12 routes with 10% or more of the routes operating in the BRT section as the experimental group, and 71 routes in the non-BRT section, were less than 10% of the routes in the BRT section, and these routes were excluded.

<Table 3-1> Number of city bus routes and final routes to be analyzed

| year | number of routes |
|---|------------------|
| 2015 | 140 |
| 2016 | 141 |
| 2017 | 142 |
| 2018 | 144 |
| 2019 | 145 |
| Analysis sample number of routes | 134 |
| Comparative group selected as non-BRT route route | 71 |
| BRT section analysis experimental group | 12 |

2. Variables for Impact Analysis

The selection of variables for the impact evaluation of the BRT project basically focuses on the short-term results according to the program logic model of the project presented in Chapter 4, Paragraph 5, and influences the number of bus passengers and bus operation income. was selected. This is because the influence variable that can measure long-term results has an attribution problem that cannot be achieved with the BRT project alone. “Number of passengers” refers to the number of passengers who used the city bus for one year on one route. “Transportation income” refers to the annual income of one route. It refers to the total income earned from one route in one year. Since the increase in transportation revenue contributes to the improvement of the transportation balance after deducting transportation costs, much effort should be made on policies to attract city bus users, such as improving services for city bus users.

The policy treatment variable is whether or not BRT is introduced. As explanatory variables representing the characteristics of bus routes, distance traveled, time required, number of vehicles operated, interval between trains, and number of times of operation were selected. These explanatory variables may have some limitations in not reflecting all of the overall operational characteristics of city bus routes or socioeconomic indicators. In addition, all

operating factors of explanatory variables were based on weekdays. The operating conditions were based on the factors of normal operation on weekdays, except for special time periods with variations in dispatch interval, number of operations, and required time such as Saturdays and Sundays during commuting to and from work and on weekends.

As an explanatory variable, 'distance' is the distance from the starting point of the city bus to the ending point of arrival. "Required time" refers to the total time required for a round trip on the road between the starting point and the ending point. 'Number of operating units' refers to the number of vehicles operated per day for one route. The total number of vehicles operated per day varies depending on the degree of dispatch interval. If the dispatch distance is long, the number of trains is naturally small. The number of routes that additionally operate late-night buses will increase accordingly. The 'dispatching interval' refers to the difference between the departure time of the preceding vehicle and the departure time of the rear vehicle. In general, the interval between trains is narrowed during commuting to work and school, and the interval between trains is slightly longer when set before and after lunchtime. According to the changing time period of the number of passengers, the interval is organically adjusted and operated. Lastly, 'number of operations' refers to the total number of operations per day, and refers to how many times a day the total number of operating units on a route operated.

The operational definitions of influence (result) variables, policy processing variables, and explanatory (independent) variables for the analysis of city bus policy effectiveness are shown in <Table 3-2>.

<Table 3-2> Independent and dependent variables for effectiveness analysis

| division | Measured variable | Operational Definition of Variables |
|------------------------------------|---------------------------------|---|
| dependent variable | the number of passengers | Annual number of users |
| | transportation revenue, | Annual transportation income |
| Explanatory (independent) variable | operation distance | Total length of the bus route from the starting point to the last point (km) |
| | the required time | Total time required (minutes) for round-trip bus routes from starting point to ending point |
| | number of vehicles in operation | Number of bus vehicles in operation per day |
| | the interval between buses | Difference between the departure time of the preceding vehicle and the departure time of the rear vehicle (minutes) |
| | the number of trips. | Total number of trips per day |

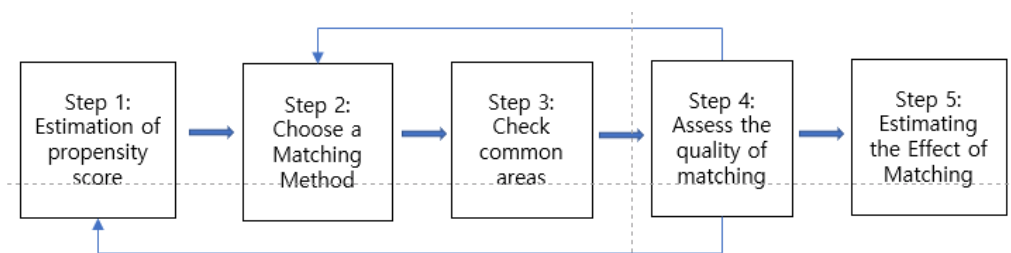
3. Analysis method

In the analysis of the policy effect on the BRT section, the characteristics of using the PSM analysis technique can be compared with the existing studies, and the differentiation can be presented as follows. First, the previous studies on the BRT section were conducted with a cross-sectional study in the direction of improvement, influencing factors, and traffic engineering based on a single point of view. However, considering that policy effects do not occur temporarily or in a short period of time, but occur continuously and over a long period of time, the effects of policies were analyzed more accurately with a time series study (Sunmi Jin et al., 2011: 38-69). Second, operating factors, distance traveled, time required, number of vehicles operated, dispatch interval, and number of operations, excluding policy supply and demand in the BRT section, were used as explanatory variables for observable characteristics. In this way, for the correct policy evaluation of the BRT section of the city bus semi-public operation system policy, the effect of the BRT section policy on the operation performance was identified by using the PSM analysis between the policy participating group and the non-participating group.

Propensity score matching (PSM) is a method of artificially constructing or finding a control group similar to the experimental group. In order to construct a similar control group, a variable representing the characteristics of the experimental group is used to construct a similar group to be matched. In this case, the propensity score is to reduce the various variables representing the group characteristics to a single dimension and score it. Using this, a comparison target with a close propensity score is extracted (Rosenbaum and Rubin, 1983).

In this paper, the number of passengers and transportation income were used as the dependent variables for policy evaluation as influence variables in the experimental group and the control group. And by setting the explanatory variables such as distance traveled, operating time, number of units operated, dispatch interval, and number of trips as independent variables, a propensity score was calculated by scoring samples corresponding to the experimental and control groups through logit regression analysis. did. Based on this propensity score, the routes with the propensity score closest to the observations constituting the experimental group were matched (Rubin and Thomas, 1992).

Specific experimental group and control group composition and effect estimation for propensity score matching are performed through the procedure shown in <Figure 3-1> below.



<Figure 3-1> Execution stage of propensity score matching (PSM)

Caliendo et al.(2008)

The biggest problem in judging the effectiveness of the BRT interval is the occurrence of sample selection bias. driving performance $E(Y^1)$ call it, If the same route was not a BRT, the operating performance $E(Y^0)$ If you say $\Delta = E(Y^1) - E(Y^0)$ is the operation performance due to the BRT section, and it can be said that it is the difference from the result obtained by changing only the presence or absence of the BRT section while all conditions of the BRT section are the same. In this case, the effect of the city bus quasi-public system policy can be defined as $\Delta_{ATT} = E(Y^1 - Y^0 | X, G = 1)$, which is the average treatment effect on the treated (ATT) of the participants, which is the average operating performance of the route on which BRT is applied (Wallsten, 2000). In order to obtain such an average effect, it can be obtained as $\Delta_{ATT} = E(Y^1 - Y^0 | X, G = 1) - E(Y^0 | X, G = 1)$, which is the difference between the expected value of operational performance for the BRT section and the expected corresponding fact value of the same route, and can be obtained as $E(Y^0 | X, G = 1)$, the difference between the expected corresponding fact value. However, it is difficult to realistically confirm the corresponding fact expected value $E(Y^0 | X, G = 1)$. Therefore, $E(Y^0 | X, G = 0)$ which approximates the corresponding fact, is used. In this case, the value that occurs because $E(Y^0 | X, G = 1) \neq E(Y^0 | X, G = 0)$ are not the same is called sample selection bias. This can be said to be a difference that occurs depending on the control group used in the analysis (Wallsten, 2000).

Let the distribution range of the treatment group characteristic variable X be $S_{1X} = \{X | f(X|G=1) > 0\}$, Let $S_{0X} = \{X | f(X|G=0) > 0\}$ be the distribution range of the control group characteristic variable, If the common area of the distribution ranges of these two X is $S_X = S_{1X} \cap S_{0X}$, The bias can be expressed as the following equation (1).

$$\int_{S_{1X}} E(Y^0 | X, G=1) dF(X|G=1) - \int_{S_{0X}} E(Y^0 | X, G=0) dF(X|G=0) \text{-----(1)}$$

If it is expressed by decomposing it into three bias (B_1, B_2, B_3), it is shown in Equation (2) below.

$$B_1 = \int_{S_{1X} \setminus S_X} E(Y^0 | X, G=1) dF(X|G=1) - \int_{S_{0X} \setminus S_X} E(Y^0 | X, G=0) dF(X|G=0) \text{-----(2)}$$

$$B_2 = \int_{S_X} E(Y^0 | X, G=0) [dF(X|G=1) - dF(X|G=0)]$$

$$B_3 = P \bar{B}_{S_X}$$

Among them, the bias (B_1) caused by the difference in the range of the treatment group and the control group can be explained as follows. If the BRT section has a running distance of 50 km and the non-BRT section has a short distance of 10 km, the characteristics of the route are

determined heterogeneously, resulting in sample selection bias. In order to minimize this bias, the control group should be selected from the population with the characteristics most similar to the treatment group.

Next, even if the size of the characteristic variable is similar, the bias (B_2) that occurs when the distribution is different is $E(Y^0|X, G=1) \neq E(Y^0|X, G=0)$ as the cumulative probability density function $F(X|G=1)$ of the treatment group characteristic variable and the cumulative probability density function of the control group characteristic variable. The difference in weighted average using $F(X|G=0)$ as a weight occurs when the weight $F(X|G=0)$ of the control group does not match the distribution function of the corresponding fact $F(X|G=1)$.

Lastly, the bias (B_3), which occurs as a common factor between the treatment group and the control group, is caused by factors that the researcher cannot confirm. The occurrence was empirically analyzed (Heckman et al., 1998; Glazerman et al., 2003; Tucker, 2010 cited). Therefore, it is possible to minimize the bias by considering the bias that occurs in the methodology along with the strict selection of the analysis target.

The standard variable for dividing the experimental group and the control group is set as the dependent variable, and the variables affecting the dependent variable are set as independent variables, and the samples corresponding to the experimental group and the control group are scored through probit or logit regression analysis. is the propensity score. Based on this propensity score, the experimental group and the control group are formed by matching the observations with the closest propensity score to the observations constituting the experimental group. This series of processes is called Propensity Score Matching(Minji Seo. 2012).

In this case, bias in sample selection occurs depending on the target selection and analysis methodology of the treatment group or experimental group (BRT section) and control group (non-BRT section), so the effect of BRT policy may be underestimated or overestimated (Heckman et al. , 1998). The PSM method is a non-experimental research method that artificially constructs or finds the most suitable comparison group.

$$\Delta = E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=0) \text{-----(3)}$$

$$= [E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=1)] + [E(Y^0|G=1) - E(Y^0|G=0)]$$

$E(Y^1|G=1)$: Operational performance of the BRT section

$E(Y^1|G=0)$: Operational performance of non-BRT sections

In Equation (3) above, $E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=0)$ is the policy effect expressed by the difference in operability between the BRT implementation route and the non-BRT section,

This can be expressed as $E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=1)$ with $E(Y^0|G=1) - E(Y^0|G=0)$

removed from the sample selection convenience. In other words, $E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=1)$ is the average effect of treatment on the treated (ATT: average effect of treatment on the treated), which is the difference in operation performance when the same route as that of the BRT-implemented route was a non-BRT section (Dawid, 1979). In order to solve this problem of sample selection bias, 'the assumption of conditional independence' must be preceded (Rosenbaum and Rubin, 1983). In other words, if the outcomes are independent of project participation, the use of a matched comparison group will yield the same estimate as randomization because it yields a biased estimate of the average effect of treatment.

For propensity score matching, the following two assumptions must be established, First, if the observable characteristics (X) are the same bus routes, the conditional independence assumption (CIA: conditional independence assumption) is essential, assuming the same operation performance regardless of whether BRT is implemented or not. It can be expressed as the following equation (4) (Rosenbaum et al., 1983).

$$Y_{1i}, Y_{0i} \perp G_i | X_i \text{-----} (4)$$

If the CIA assumption is satisfied and the vectors of explanatory variables X_i and $Y_{1i}, Y_{0i} \perp G_i | X_i, \forall i$, for each route are observable, when $Y_i = G_i Y_{1i} + (1 - G_i) Y_{0i}$

$$G_i | G_{i-1} \equiv E(Y_{1i} | G_i = 1) - E(Y_{0i} | G_i = 1) \\ = E_{X_i} \{ E(Y_i | X_i, G_i = 1) - E(Y_i | X_i, G_i = 0) | G_i = 1 \} \text{ will be}$$

In addition, the common support condition that the BRT section and the non-BRT section must have a similar distribution of the probability of being a BRT section. This can be expressed as Equation (5) below (Rosenbaum et al., 1983).

$$0 < \Pr(G=1|X) < 1 \text{-----} (5)$$

The propensity score is the conditional probability $PS = \Pr(G=1|X)$ to participate in the policy given the observable characteristics of the participants, and the theorem in Equation (6) below can be established.

- ① $X \perp G \perp P(X) \text{-----} (6)$
- ② $(Y^0, Y^1) \perp G | P(X), 0 < \Pr(G=1|P(X)) < 1$

In other words, when the treatment group and the control group are matched through

propensity scores, the observable characteristics of each group have the same distribution, and the effect of maximally controlled sample selection bias such as randomization can be estimated. In addition, the bias can be minimized even when matching using generally observable characteristic variables. If there are 4 variables used for matching, there are $2^4 = 16$ possible combinations, and as the number of variables increases, it becomes difficult to match the treatment group and the control group, resulting in a dimensionality problem.

If these 'conditional independence assumption' and 'common domain condition' are satisfied, the effect of the policy is as follows (7) (Rosenbaum and Rubin. 1983).

$$\begin{aligned} \Delta_{ATT} &= E(Y^1|X, G=1) - E(Y^0|X, G=1) \text{-----(7)} \\ &= E(Y^1|X, G=1) - E(Y^0|X, G=0) \end{aligned}$$

Since the observable $E(Y^0|X, G=0)$ and $E(Y^0|X, G=1)$ in Equation (7) are the same according to the assumption of Equation (4) $Y^0, Y^1 \perp G|X$, the sample selection bias can be minimized (Hirano, K., & Imbens, GW 2001; Becker, S, O. and A. Ichino, 2002; Abadie, A. and D. Drukker, and JL. Herr, and GW. Imbens, 2004).

In the case of nearest neighbor matching among the PSM methods, the closest object in the control group is matched based on the propensity score of the treatment group. , there is a disadvantage that the result of the matched object varies according to restoration/non-restore. On the other hand, caliper matching does not match when it deviates from the propensity score of the treated group object by a certain level, so it can compensate for the shortcomings of nearest neighbor matching. The propensity score is calculated by logistic analysis, and it is expressed in Equation (8) below (Austin, 2010).

$$\log \frac{P\{G=1|x_1, x_2, \dots, x_p\}}{P\{G=0|x_1, x_2, \dots, x_p\}} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \text{-----(8)}$$

In $0 < \Pr(G=1|X) < 1$ in Equation (7), G is the presence or absence of BRT section, x_1, x_2, \dots, x_p is the actual observation value of observable characteristics, and the probability (propensity score) corresponding to the BRT implementation route is as shown in Equation (9) below (Austin, 2010; Huh, Myeong-hoe, 2014).

$$\frac{\exp(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_p x_p)}{1 + \exp(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_p x_p)} \text{-----(9)}$$

For the successful estimation of the effect of the PSM method, the specification of the propensity score estimation formula is an important issue. In general, the propensity score estimation formula includes explanatory variables (X), higher order terms (higher order terms :

$X^2, X^3 \dots$) and interaction terms of independent variables. In particular, the specialization of the propensity score estimation formula is revised according to whether or not 'balance' has been achieved between the project group and the comparison group, after which it is repeatedly verified. It is common for only independent variables to be included in the equation. A simple algorithm for propensity score estimation is as follows (Austin, 2010).

First, the propensity score is estimated using the logit model.

Second, the estimated propensity score classifies the data from low to high.

Third, if all observations are stratified, the project diagnosis of each stratum and the estimated propensity score of the comparison group will be close (the difference will not be significant). As an example, we start by dividing the observations into strata in the same score range (0-0.2, ..., 0.8-1).

Fourth, in the statistical test, the difference-in-means of all explanatory variables of the business group and the comparison group included in all layers (blocks) should not be significant. ① Stop when all explanatory variables are balanced between the observations of the project diagnosis and the comparison group in all strata (blocks). ② If the explanatory variable is not balanced in some strata, divide the strata into smaller ones and re-evaluate. ③ If the explanatory variable is not balanced in all layers, the intersecting term or higher-order term of the explanatory variable is added to the logit model and evaluated again (Brookhart et al., 2006).

The null hypothesis (H_0 : difference = 0), the null hypothesis is rejected if it is less than 0, and if the difference is greater than 0, it is considered that the BRT section has a complementary relationship with the driving performance. However, if the difference is less than 0, it can be said that the policy of the BRT section is not effective in the city bus route itself (Brookhart et al., 2006).

IV. Empirical analysis

1. Effect analysis procedure and method for BRT

1) Estimation of propensity score

As for the policy effect on the BRT section implementation route, the difference after the BRT section implementation is obtained by extracting similar routes from the non-BRT section route group using the PSM method on the premise that the line that operated the BRT section does not implement the BRT section. To implement the PSM procedure, propensity scores were estimated for the bus routes of the experimental group and the control group. The dependent variable of logit implemented in the PSM process is a binary variable coded as BRT route = 1 / non-BRT route = 0. PSM is performed using the coefficients estimated in logit, and the target variables set for PSM are the number of users and transportation income. It was

estimated through a logit model using the number of passengers and transportation income as the dependent variables as the outcome variables to be derived, and five operational factors that affect them as explanatory variables. Through matching based on the propensity score, the driving factors of the control group similar to the experimental group are extracted to find out the difference from the experimental group.

The explanatory variables for estimating the propensity score are operation distance, the required time, number of vehicles in operation, the interval between buses, the number of trips. The number of passengers and transportation revenue were selected as dependent variables (influencing variables). Transportation income is very large in the city, so the amplitude of vibration is considerable. As there is a high possibility of statistical errors due to this, the natural logarithm of transportation income was used to convert it into a stable variable, and then statistical analysis was performed.

2) Matching method by propensity score

Matching methods include Nearest Neighbor Matching, Caliper Matching, and Kernel Matching. Kernel matching is a method in which matching is performed until all experimental groups in the comparison group are matched in order to fully utilize data information, and the closer the propensity score is, the greater the weight is given. Caliper matching is a method in which a matching range (caliper) is determined and only when the propensity score is within the range is used for matching. The higher the accuracy, the higher the matching. In this study, near-neighbor matching and kernel matching methods were used to check whether the matching result remains stable even if the matching method is changed. In the end, the matching method was analyzed in a way that can confirm the stability of the result value.

3) Verification of homogeneity between the experimental group and the control group

After matching according to the propensity score, the homogeneity of the experimental group and the control group was confirmed as a result of matching. In the homogeneity verification, first, if there is no significant difference by comparing the matching variable values of the two groups, it is considered that the homogeneity of the experimental group and the control group has been secured, The second is to check whether overlapping exists in the distribution of propensity scores between the experimental group and the control group (Caliendo & Kopeing, 2008; Seulgi Choi, 2020). If there is no overlap in the distribution of propensity scores of the two groups or if the range of overlap is too narrow, it will be difficult to see that matching has been performed properly (Seulgi Choi, 2020).

4) Estimation of average treatment effect

As the last procedure of propensity score matching, the average of the results of the matched experimental group and control group was compared. We examined whether changes in the number of passengers and transportation income, which are dependent variables, show

significant differences. In general, the estimation of treatment effect after matching uses difference verification between two groups to obtain ATE (average treatment effect) and ATT (average treatment effect of experimental group). If conditional independence and common support area are assumed in the propensity scores between the experimental group and the control group, the average treatment effect by the PSM method is equal to the average difference of expected results in the common support area. In addition, sensitivity analysis may be performed to analyze how sensitive the estimated treatment effect is to unobserved confounding variables.

2. Analysis Results

1) Characteristics of routes between BRT and non-BRT sections

The characteristics of the data to be used for the analysis of the BRT section of Busan are shown in <Table 4-1>. Non-BRT section routes are bus routes that do not operate BRT sections at all. For the BRT section, the route was selected for which the BRT section accounts for more than 10% of the total distance traveled. The selected routes are the 12 routes as the experimental group. They applied different analysis according to the time of BRT. In <Table 4-1> below, the number of observations for the BRT section route sampled from the basic statistics is 22.

For the control group non-BRT section, 71 routes were 355 routes from 2015 to 2019, and 5 routes in the BRT section during the period before the implementation of BRT were 5 routes for 2 years from 2015 to 2016. These 10 routes and 7 routes total 38 routes when 28 routes are added over the four years from 2015 to 2018. If we add this to the 355 routes in the above pure non-BRT section, 393 observed routes are non-BRT section routes. As explanatory variables representing the characteristics of the route, operating factors such as the number of operating units, driving distance, required time, number of trips, and dispatch interval were set. The result (dependent) variables are the number of users and log revenue.

In <Table 4-1> below, there are 22 routes in the BRT section sampled from the basic statistics. 5 years for a total of 83 routes, that is, 415 routes are multiplied by the five years of the analysis range from 2015 to 2019. Excluding the BRT section, there are 393 non-BRT sections. The average of the independent variable operation factors in the non-BRT section is 15.12 vehicles, the distance traveled is 61.59 km, the required time is 142.58 minutes, the number of operations is 77.26 times, and the interval is 15.70 minutes. The average of the independent variable operation factors in the BRT section is 22.22 vehicles, the distance is 58.77 km, the required time is 151.72 minutes, the number of operations is 51.95 times, and the interval is 19.86 minutes.

<Table 4-1> Characteristics of the analysis target bus route

| All | | BRT route (A) (n = 22) | | Non-BRT routes (B) (n = 393) | | t-test (B-A=0) |
|---------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------|----------|-------------------|
| Average | Standard | Average | Standard | Average | Standard | |

| | | Deviation | | Deviation | | Deviation | | |
|----------------------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|--|----------|
| number of vehicles in operation, | 15.50 | 9.27 | 22.23 | 9.25 | 15.13 | 9.14 | | -3.55*** |
| operation distance, | 61.44 | 34.42 | 59.77 | 30.22 | 61.59 | 34.67 | | 0.37 |
| the required time | 143.07 | 38.50 | 151.73 | 42.23 | 142.59 | 38.28 | | -1.09 |
| the number of trips. | 75.93 | 44.95 | 51.95 | 45.68 | 77.27 | 44.59 | | 2.59* |
| the interval between buses, | 15.92 | 8.84 | 19.86 | 7.76 | 15.80 | 8.85 | | -2.16* |
| the number of passengers | 2990.08 | 2278.30 | 4653.41 | 2248.25 | 2896.97 | 2246.60 | | -3.57*** |
| logincom | 21.27 | 1.26 | 22.00 | 0.75 | 21.23 | 1.27 | | -2.81** |

Note. * p < 0.05; ** p < 0.01; ***p < 0.001. 5 routes will be BRT from 2017 (n = 5 X 3); Seven routes (9701) have BRT implementation from 2019 (n = 7 X 1). Number of passengers unit = 1,000

Referring to the t-test in <Table 4-1> above, except for the distance traveled and the required time, all of the values in p > 0.05 show significant differences. This indicates that the BRT and non-BRT routes are not homogeneous. When estimating the average treatment effect by dividing them into an experimental group and a control group, it is impossible to obtain a valid estimate due to selection bias.

2) logit analysis for propensity score estimation

<Table 4-2> logit result

(N = 415): 1=BRT, 0=non-BRT

| | Coefficient | standard error | 95% C.I. | |
|-----------------------|-------------|----------------|----------|-------|
| | | | down | up |
| number of vehicles | 0.07* | 0.03 | 0.01 | 0.12 |
| operation distance, | -0.01 | 0.01 | -0.03 | 0.01 |
| required time | 0.01 | 0.01 | -0.01 | 0.03 |
| number of trips | -0.01 | 0.01 | -0.02 | 0.01 |
| interval between | 0.01 | 0.04 | -0.07 | 0.10 |
| 상수 | -4.58* | 1.77 | -8.05 | -1.11 |
| Pseudo R ² | 0.09 | | | |
| Chi ² | 14.99* | | | |

Note. * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001.

The logit model is executed to obtain the propensity score, where the dependent variable is BRT (=1)/non-BRT (=0) coded as 0 and 1. Pseudo R2 is 0.09, which has a 9% explanatory power for whether explanatory variables are BRT or not. Also, since Chi2 is 14.99, which is significant at the 0.05 level in the above analysis, it can be seen that logistic regression analysis is a significant model. The goodness of model-fit of logistic regression showed that the current model was available. The marginal effect is a numerical value that explains how much each variable affects the BRT section, and in this PSM analysis process, it is a numerical value necessary to calculate the weight and is the estimated value. Also, since the Chi2 value is significant, the PSM weight can be estimated using the marginal effect derived from this logistic. That is, the weight applied to the matching non-BRT section can be obtained using the marginal effect of each explanatory variable estimated through logistic.

Using the policy processing probability estimated by logit analysis, the BRT section route group was matched with the non-BRT section route group. BRT section route selection and explanatory variables have no significant relationship with BRT section. In the 95% confidence interval, the number of operating units was 0.01 to 0.12, the driving distance was -0.03 to 0.01, and the required time was -0.01 to 0.03. And the frequency of operation ranged from -0.02 to 0.01, and the interval between trains was from -0.07 to 0.10.

3) Confirmation of homogeneity between the experimental group and the control group

Calculate the estimate of the driving factor through the above logistic regression analysis, As a result of matching, it was confirmed whether the homogeneity of the experimental group and the control group was secured. Looking at <Table 4-3> to <Table 4-8> below, it can be seen that there is a significant difference between the two groups in most variables when the characteristics of the driving factors are compared before matching. After matching based on the propensity score, all variables of the experimental group and the control group did not show any statistically significant difference. These results showed similar results even when the near-neighbor matching, kernel matching, and caliper matching methods were different.

<Table 4-3> Propensity score matching, test of homogeneity between experimental group and control group (T-test): Near-neighbor matching

| 구분 | before matching | | | after matching | | |
|--|--------------------------------|----------------------------|-------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|
| | BRT (experimental group) | 비BRT (control group) | t- value | BRT (experimental group) | 비BRT (control group) | t- value |
| number of vehicles | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.864 | - 0.21 |
| operation distance, required time | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 58.773 | 64.591 | - 0.60 |
| number of trips | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 154.18 | - 0.20 |
| interval between | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 51.955 | 51.523 | 0.03 |
| | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 19.068 | 0.36 |

주) Significance level of t-value: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 **Dependent variable: the number of passengers**

<Table 4-4> Propensity score matching, test of homogeneity between experimental group and control group (T-test): caliper matching

| 구분 | before matching | | | after matching | | |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|---------|--------------------------|-----------------------|---------|
| | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value |
| number of vehicles | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.864 | -0.21 |
| operation distance, | 58.773 | 61.59 | -0.37 | 58.773 | 64.591 | -0.60 |
| required time | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 154.18 | -0.20 |
| number of trips | 51.955 | 77.267 | -2.59 | 51.95 | 51.523 | 0.03 |
| interval between | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 19.068 | 0.36 |

주) Significance level of t-value: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 **Dependent variable: the number of passengers**

<Table 4-5> Propensity score matching, test and control group homogeneity verification (T-test): kernel matching

| 구분 | before matching | | | after matching | | |
|---------------------|--------------------------|-----------------------|---------|--------------------------|-----------------------|---------|
| | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value |
| number of vehicles | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.083 | 0.05 |
| operation distance, | 58.773 | 61.59 | -0.37 | 58.773 | 59.95 | -0.13 |
| required time | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 150.45 | 0.11 |
| number of trips | 51.955 | 77.267 | -2.59 | 51.955 | 58.212 | -0.49 |
| interval between | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 18.89 | 0.43 |

주) Significance level of t-value: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 **Dependent variable: the number of passengers**

<Table 4-6> Propensity score matching, test of homogeneity between experimental group and control group (T-test): Near-neighbor matching

| 구분 | before matching | | | after matching | | |
|----|--------------------------|-----------------------|---------|--------------------------|-----------------------|---------|
| | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value |

| | group) | group) | | group) | group) | |
|-----------------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|
| number of vehicles | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.864 | -0.21 |
| operation distance, required time | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 58.773 | 64.591 | - 0.60 |
| number of trips | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 154.18 | - 0.20 |
| interval between | 51.955 | 77.267 | -2.59 | 51.955 | 51.523 | 0.03 |
| | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 19.068 | 0.36 |

주) Significance level of t-value: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 **Dependent variable: log income**

<Table 4-7> Propensity score matching, verification of homogeneity between experimental group and control group (T-test): caliper matching

| 구분 | before matching | | | after matching | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|---------|
| | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value |
| number of vehicles | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 16.571 | 16.571 | 0.00 |
| operation distance, required time | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 48 | 48 | 0.00 |
| number of trips | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 130 | 130 | 0.00 |
| interval between | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 64.857 | 64.857 | 0.00 |
| | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 18.857 | 18.857 | 0.00 |

주) Significance level of t-value: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 **Dependent variable: log income**

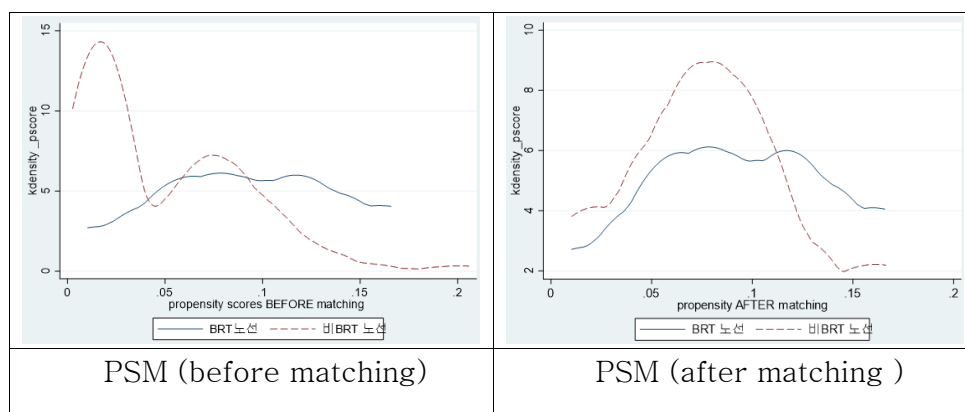
<Table 4-8> Propensity score matching, verification of homogeneity between experimental group and control group (T-test): kernel matching

| 구분 | before matching | | | after matching | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|-----------|
| | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value | BRT (experimental group) | 비)BRT (control group) | t-value |
| number of vehicles | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.083 | 0.00 |
| operation distance, required time | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 58.773 | 59.95 | -0.13 |
| number of trips | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 150.45 | 0.11 |
| interval between | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 51.955 | 58.212 | - 0.49 |
| | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 18.89 | 0.43 |

주) Significance level of t-value: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 **Dependent variable: log income**

For the 2015-2019 period, the matched routes were for 22 BRTs and 27 for non-BRTs. When looking at the average before matching for all explanatory variables, there is a large numerical difference between the BRT route and the non-BRT route. that can be checked. In the t-test result, it can be seen that all explanatory variables differed significantly between the BRT section and the non-BRT section, resulting in successful PSM matching.

The distribution of propensity scores between the BRT group and the non-BRT group is shown in the <Figure 4-1> graph below. As shown in the figure, it can be seen that the graph of the propensity score after matching is similar. The horizontal is the propensity score and the vertical is the probability estimated by logistic, and it can be seen that the significant difference is decreasing after matching. Here, the horizontal index is the propensity score, and the vertical index is the probability estimated as logistic. If the status before and after matching is displayed as a graph, it is shown in <Figure 4-1> below.



<Figure 4-1> Result graph before and after Busan matching

4) Estimation of average treatment effect

Depending on the propensity matching estimation technique, it often happens that the estimated value changes. This is a phenomenon in which the estimate by the matching method varies depending on the characteristics of the data. Therefore, in this case, it is necessary to find the best matching method among the estimated propensity matching. This method was selected because the “flexible method using caliper” used in previous analyzes can produce appropriate results in similar methods.

Matching through the kernel method did not properly adjust the control group to the experimental group. This can be confirmed in the Kernel column of the PSM estimation result for the number of users in Busan in <Table 4-9> below. After matching the experimental group, ATT, the average number of users, is almost identical to Unmatched, the average number of users before matching. However, there is no problem in using a flexible caliper because the flexible method uses the caliper or the non-flexible method does not use the caliper.

<Table 4-9> Comparison of the number of users before and after matching: 1:1 Nearby Neighbors,

Caliper, Kernel

| | | BRT route (A) | Non-BRT route (B) | difference in number of passengers | t-test (A-B=0) |
|--------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|--|---------------------------|
| before matching | simple comparison | 4653.40 | 2897.00 | 1756.40 | 3.57*** (p = 0.000) |
| PSM | 1:1 Near Neighbor Matching | 4653.40 | 4579.80 | 73.60 | 0.10 (p = 0.920) |
| | kernel matching | 4653.40 | 4579.50 | 73.30 | 0.10 (p = 0.919) |

Note. * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001. number of passengers = 1,000

The above <Table 4-9> shows that the difference in the number of passengers on the corresponding route for the BRT section and the route for the non-BRT section is slightly different depending on the two matching methods, The number of passengers on the non-BRT and BRT routes was similarly adjusted under the same conditions. Therefore, 73,600 people increased in 1:1 near-neighbor matching, and 73,300 people increased in kernel matching method. Next, let's look at before and after matching for log income.

The above <Table 4-9> shows that the difference in the number of passengers on the corresponding route for the BRT section and the route for the non-BRT section is slightly different depending on the two matching methods, The number of passengers on the non-BRT and BRT routes was similarly adjusted under the same conditions. Therefore, 73,600 people increased in 1:1 near-neighbor matching, and 73,300 people increased in kernel matching method. Next, let's look at before and after matching for log income.

<Table 4-10> Comparison of log income before and after matching: 1:1 near-neighbor matching, kernel matching

| | | BRT route (A) | Non-BRT route (B) | log income difference | t-test (A-B=0) |
|--------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| before matching | simple comparison | 22.00 | 21.23 | 0.77 | 2.81** (p = 0.005) |
| PSM | 1:1 Near Neighbor Matching | 22.00 | 21.92 | 0.08 | 0.28 (p = 0.777) |
| | kernel matching | 22.00 | 21.91 | 0.09 | 0.32 (p = 0.748) |

Note. * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001

After matching the corresponding route in the BRT section and the corresponding route in the non-BRT section based on the explanatory variables, the difference in log revenue before and after that is shown in <Table 4-10> above. The log revenue after matching increased by 0.08 (8%) in the near-neighbor matching of the BRT section than the non-BRT section, and

by 0.09 (9%) in the kernel matching method.

V. Conclusion

The operating distances of city buses operating in each BRT section of Busan were measured and summed up, and the operating ratio of the BRT sections for each route was calculated.

Based on these data, 71 bus routes that do not operate any BRT sections from 2015 to 2019 are confirmed, and the bus routes that are affected by the BRT section have a BRT section operating ratio of 10% compared to the distance traveled on the route. Only the above routes were extracted and these routes were set as the experimental group. There are 12 routes, and specifically, 5 of 31, 115-1, 43, 506, and 141 are BRT starting from January 2017. 1010, 20, 10, 87, 86, 110-1, 99 7 All routes have been operating the BRT section since May 2019. Therefore, in the process of time series analysis, the units in which these experimental groups purely operated the BRT section were 22 routes per year. PSM is 22 BRTs and 27 non-BRTs for the 2015-2019 period.

The difference in the number of passengers over 3 years through PSM analysis showed that 73,600 people increased in 1:1 short-distance neighbor matching for BRT section routes than for non-BRT section routes. In the kernel matching method, 73,300 people increased. In log income, PSM near-neighbor matching increased by 0.09 (9%) for three years from 2017 to 2019, and the same 0.09 (9%) increased in kernel matching. The analysis results of Busan are summarized and summarized as follows <Table 5-1>.

<Table 5-1> Summary of effects according to analysis results

| division | | Results according to analysis method | |
|--|---------------------|--|--------------------------------|
| Analysis method | | PSM | |
| group division | | Number of routes in the experimental group | Control group number of routes |
| parent group | | 12 | 71 |
| 5 years by year analysis bus route total | | 22 | 393 |
| number of matching routes | | 22 | 27 |
| number of passengers | PSM (Near Neighbor) | 73,600 people increase | |
| | PSM (kernel) | 73,300 people increase | |
| log income | PSM | 0.09(9%) increase | |

| | | |
|--|-----------------|-------------------|
| | (Near Neighbor) | |
| | PSM (kernel) | 0.09(9%) increase |

Busan is blocked by the sea to the south due to the structure of the city center. In the north, the mountainous terrain hangs like a folding screen, so the expansion of the city center is weaker than that of the metropolitan area and Chungcheong area. In addition, the role distribution of organic urban functions with satellite cities such as Ulsan, Jinhae, and Yangsan is weak, so the effect of the BRT section may be somewhat reduced.

In order to improve the policy effectiveness and efficiency of quasi-public city buses, the top priority is to reduce the fiscal deficit and at the same time strengthen the public nature of public transportation for city buses. To this end, local governments, which are the enforcement agencies, should promote the following institutional reforms.

First, the function of cooperative wide-area transport governance should be strengthened. A cooperative and coordinated governance system should be established so that transportation service providers and consumers (the state, local governments, and the private sector) can actively participate in resolving metropolitan transportation problems. Through the Metropolitan Transportation Conflict Management Committee under the Metropolitan Area Transportation Committee, it is necessary to find solutions for the improvement of the redundant route system and inefficient routes by periodically conducting surveys on the actual conditions of regional transportation and big data analysis. Accordingly, it is necessary to focus on increasing the number of passengers and increasing the passenger traffic per bus. The BRT section should be built as a wide-area transportation network. Seoul operates BRT sections linked to the satellite cities of Seongnam, Goyang, Uijeongbu, and Gwacheon. Daejeon established a wide-area transportation network such as Daejeon Station and Osong Station in connection with Sejong City. However, Busan is not like that, so the construction of a wide-area transportation network linking Ulsan, Gimhae, Jinhae, and Yangsan must be hastened.

In addition, the city-to-city cooperation system should be able to link and expand the routes between cities so that some of the routes of city buses can be smoothly connected with these satellite cities. Unlike intercity buses that operate non-stop from terminal to terminal, city-to-city connection of city buses should allow citizens to break down city boundaries and facilitate business and consumption activities according to inter-city needs. In this way, if the boundary between cities is broken down and the extension of the route is considered, the level of access for citizens to better mobility can be improved.

Second, continuous monitoring is required to establish a fast and convenient connection/transfer system. To this end, the shared mobility infrastructure should be expanded centered on the transfer center, and a plan to improve accessibility should be carried out in parallel. In the case of Busan, as the subway Donghae Nambu Line was extended, the BRT section was opened and the free transfer system was implemented so that the transfer could be made smoothly. The construction of this transfer system should not be fixed, and the transfer system should be changed according to the change in passenger fluidity. The demand for transit passengers may vary depending on the development of the city center, the movement of commercial districts, the change of seasons, and the population movement of

neighboring cities. Therefore, it is necessary to periodically monitor the passenger trends of city buses and promote the change of the transfer center based on this.

Reference

- Seongbok Lee (2000). 「Urban Administration Theory」. law clerk.
- Myung-Hye Huh (2014). 「Applied Data Analysis Using R」. Free Academy.
- Kim Seong-eun (2019). An analysis of citizenship according to the operation of BRT and a study on improvement measures. Pusan National University Graduate School Master's
- Jongjin Kim (2012). A study on the feasibility of substituting the arterial express bus system for the Busan metropolitan area urban railway planned route. Kyungsung University Master's thesis. 1-135
- Kim Joo-in (2007). A Study on the Effect of Introduction of the Semi-Public Management System in Bus Operation -Focused on the Cases of Seoul's Public Transportation Reorganization-. Master's thesis, Department of Public Administration, Graduate School of Urban Science, University of Seoul.
- Heeyoung Kim (2001). Determinants of the provision of urban public service facilities. Ewha Womans University Graduate School, Master's Thesis.
- Na Geum-hwan (2011). A Study on Factors Affecting Eco-Friendly Green Transportation Policy Implementation: Focusing on the BRT pilot project in the metropolitan area. Incheon National University Graduate School of Public Administration Ph.D. thesis.
- Park Soo-young (1993). A study on the theory of urban public service. *Kyung Hee Law*, 28(1) 239-259.
- Hyunjin Ahn (2010). A study on ways to improve transportation management efficiency through the city bus semi-public management system. Incheon University Master's thesis.
- Jongsu Lee (2010.). Exploring Post-NPM Reform Strategies. *Korean Society and Public Administration Studies*. 21(1),
- Hoon-Ki Lee and Jong-Hak Kim (2005). Changes in travel behavior and air pollution improvement effects due to the integrated implementation of the traffic demand management policy. *Korean Society of Land and Urban Planning*, 40(4), 175-185.
- Park Jun-hwan (2009). The financial burden and tasks of local governments following the implementation of the bus quasi-public management system. Parliamentary Legislative Investigation Office,
- Minji Seo (2012). Analysis of the effect of the work incentive tax system on the income and labor supply of the working poor. Sungkyunkwan University graduate school master's thesis,
- Cheol-gyu Eun (2009). 橫斷面 設計 改善方案研究. Doctoral thesis at Seoul Metropolitan University.
- Wonkyu Lee et al. (2006). A study on the implementation plan of the Busan bus semi-public management system. 「Busan Development Institute」.
- Sunmi Jin et al. (2011). A longitudinal study on the effects of social service continuity on the economic activity participation and participation status of married women: application of a
The Impact of passenger volume and transportation revenue change 46

- mixed multinomial logistic regression model. *Health and Social Research*, 31(3) 38-69
- Seulgi Choi (2020). Analysis of the role and management status of private health insurance in national health insurance. Audit Research Institute of the Board of Audit and Inspection. 12.
- Jong-Hak Han (2011). Analysis of bus route efficiency within Incheon Metropolitan City after the implementation of the quasi-public management system. *Transportation Technology and Policy*, 8(3), 16.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (accessed 01 ~ 31 August. 2020. From <http://www.molit.go.kr/USR/>
- Busan City Hall (accessed 01 ~ 31 August. 2019. From <http://www.busan.go.kr/forest/hoboardnews/1386038>
- Abadie, A., D. Drukker., JL. Herr, & GW .Imbens(2004), Implementing matching estimators for average treatment effects in Stata, *The Stata Journal*, 4(3), 290-311.
- Austin, P. C. (2010). The performance of different propensity-score methods for estimating differences in proportions (risk differences or absolute risk reductions) in observational studies. *Statistics in medicine*, 29(20), 2137-2148.
- Becker, S, O. & A. Ichino(2002), Estimation of average treatment effects based on propensity scores, *The Stata Journal*, 2(4), 1-19
- BOGNETTI, G, OBERMANN, G, (2012). LOCAL PUBLIC SERVICES IN EUROPEAN COUNTRIES: MAIN RESULTS OF A RESEARCH PROJECT BY CIRIEC INTERNATIONAL. *Blackwell Publishing Ltd, Annals of Public and Cooperative Economics*, 83(4), 1-21
- Brookhart, M. A., Schneeweiss, S., Rothman, K. J., (2006), Variable selection for propensity score models. *American journal of epidemiology*, 163(12), 1149-1156.
- Caliendo M, and S. Kopeining. (2008). Some Practical Guidance for the Implementation of Propensity Score Matching. *Journal of Economics Surveys*, 22(1), 31-72.
- Carolyn J Heinrich, Elizabeth Fournier.(2004) “Dimensions of publicness and performance in substance abuse treatment organizations,” *Journal of Policy Analysis and Management*, 23(1) 61-62
- Dassiou, X., Langham, P., Nancarrow, C., Scharaschkin, A. and Ward, D. (2015). Public service markets: Their economics, institutional oversight and regulation. Palgrave Communications. Nov. 2015. pp. 1-13. Retrieved from <https://www.nature.com/palcomms/>
- Dawid, A. P. (1979), “Conditional independence in statistical theory,” *Journal of the Royal Statistical Society. Series B(Methodological)*, 41(1), 1-31.

- Garen, J. (1984). The returns to schooling: A selectivity bias approach with a continuous choice variable. *Journal of the Econometric Society*, 52(5), 1199-1218.
- Glazerman, S., Levy, D. M., & Myers, D. (2003). Nonexperimental versus experimental estimates of earnings impacts. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 589(1), 63-93.
- Heckman, J., Ichimura, H., Smith, J., & Todd, P. (1998). Characterizing selection bias using experimental data. *Econometrica*, 66(5), 1017-1098.
- Heckman, J. J., Ichimura, H., & Todd, P. E. (1997), "Matching as an econometrics evaluation estimator: Evidence from evaluating a job training programme," *The review of economic studies*, 64(4), 605-654
- Hirano, K., & Imbens, G. W. (2001). Estimation of causal effects using propensity score weighting: An application to data on right heart catheterization. *Health Services and Outcomes research methodology*, 2(3-4), 259-278.
- Levinson, H.S. (2007). Bus Rapid Transit Practitioner's Guide. Transportation Research Board of National Academies, Chapter 4-Component Features, Costs, and Impacts, 61-243. (accessed 10 ~ 31 April. 2021. from <https://www.nap.edu/read/23172/chapter/6>)
- Imbens, Guido, and Karthik Kalyanaraman(2011). Optimal bandwidth choice for the regression discontinuity estimator. *The Review of Economic Studies*, 1-27
- K Watkins, S Berrebi, C Diffie, B Kiriazes, D Ederer. (2020). Analysis of Recent Public Transit Ridership Trends. *THE NATIONAL ACADEMIES PRESS*. 108.
- Rubin, D. B. (2001). Using propensity scores to help design observational studies: application to the tobacco litigation. *Health Services and Outcomes Research Methodology*, 2(3-4), 169-188.
- Rubin, D. B. (1974). Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies. *Journal of educational Psychology*, 66(5), 688.
- Rubin, D. B. (1978). Bayesian inference for causal effects: The role of randomization. *The Annals of statistics*, 6(1), 34-58
- Rubin, D. B., & Thomas, N. (1992). Characterizing the effect of matching using linear propensity score methods with normal distributions. *Biometrika*, 79(4), 797-809.
- Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41-55.
- Todd, Albert May(1918). Constitution of the Public ownership league of America. Chicago, Ill., Public ownership league of America Chicago, Illinois, 119-122.
- Tucker, J. W. (2010), Selection bias and econometric remedies in accounting and finance
The Impact of passenger volume and transportation revenue change 48

research. *Journal of Accounting Literature*, 29, 31-57.

Wallsten, S. J. (2000), The effects of government-industry R&D programs on private R&D: the case of the Small Business Innovation Research program. *The RAND Journal of Economics*, 31(1), 82-100.

Zatti, A. (2012). NEW ORGANIZATIONAL MODELS IN EUROPEAN LOCAL PUBLIC TRANSPORT: FROM MYTH TO REALITY. *Blackwell Publishing Ltd*, 83(4). 533-559

**준공영제 시내버스 정책 시행에 따른
승객량과 운송수입 변화에 관한 영향 연구
- 부산시의 간선급행버스체계(BRT)를 중심으로 -**

성우용, 강재호

국문요약

본 연구의 목적은 부산시 시내버스 정책 중 BRT에 대한 효과성 분석이다. 시내버스는 시민의 생활과 밀접한 교통수단이다. 시내버스 요금은 서민경제의 안정을 위해 그동안 인상을 자제해 왔다. 이로 인해 운행적자가 발생하는 부분은 공적자금으로 메우게 하는 준공영제(Quasi-Public Operation System)가 시행되었다. 준공영제 실시로 인하여 지방자치단체는 교통약자의 이동권을 보장하기 위해 정책노선을 유지하고, 장애인을 위한 저상버스의 운용, 노인과 아동 및 청소년의 요금 할인 등, 우리 사회의 약자를 위한 복지사회 구현의 일환으로 시내버스의 역할을 부여했다.

BRT의 경우 정시성, 신속성을 목적으로 하고 있으며, 이용자수의 증가를 위한 효율적인 운용을 통해 긍정적인 효과를 가져올 수 있다. 시내버스의 정시성과 신속성이 확보되면, 그만큼 이용자의 유인효과가 있을 것이고 이용자가 증가하면, 그에 따르는 운송수입도 늘어나 재정적자의 규모도 감소할 것이다. 분석의 진행은, 부산의 비BRT구간 노선 71개와 실험집단 BRT구간 노선은 12개를 선정하여 PSM분석과 고정효과분석을 실시하였다. 이에 따라 부산의 BRT구간 효과분석에서 이용객수가 PSM 근거리이웃 매칭의 경우 2017년부터 2019년 3개년 동안 73,600명이 증가하였고, 커널 매칭에서는 73,300명이 증가하였다. 로그수입에서는 PSM 근거리이웃 매칭의 경우 0.09(9%)가 증가하였고, 커널 매칭에서도 같은 0.09(9%)가 증가하였다.

주제어: 준공영제, 시내버스, 간선급행버스체계(BRT), PSM, 정책효과

I. 서론

1. 문제제기 및 연구의 목적

시내버스는 도시민의 생활과 밀접한 중요한 운송수단이다. 시내버스가 대중교통으로서 시민의 이동권을 보장하는 차원에서 도시철도보다 유리한 점은, 주거공간에까지 수월하게 노선을 연결할 수 있으며 막대한 예산을 들여 건설하는 지하철보다 초기투자자본이 없기 때문이다.

그러나 승용차의 증가와 인건비 상승, 유류비 인상 등으로 적자가 발생하는 노선은 늘어났고, 시내버스 회사에서는 이러한 적자 노선을 폐쇄하거나 감축운행 등으로 시민의 이동권에 많은 제약을 끼치게 되었다. 이를 타개할 방법으로 지방자치단체는 시내버스 업계의 손실을 공적자금으로 메우게 하는 준공영제(Quasi-Public Operation System)를 실시하게 되었다.

시내버스 준공영제의 시행은 안정적 대중교통 서비스의 공급, 승용차 운행의 억제, 도시교통체계의 지속가능성 증대 등에서 긍정적인 평가를 받기도 한다(박준환, 2009: 1). 그러나 지방자치단체가 공익적인 차원에서 재정지원을 하고 있지만, 그 규모가 해마다 증가되고 있어 시내버스 준공영제 실시를 중단해야 한다는 여론이 일기도 하였다. 따라서 공익성을 확보하기 위한 수단으로 공적자금이 투입되고 있다면, 그에 대한 평가는 당연히 이루어져야 한다.

시내버스 준공영제 정책 중 간선급행버스체계(BRT: Bus Rapid Transit)구간의 일반적인 효과는 운행시간을 절약하고, 정시성을 확보하며, 안정성, 편리성, 생산성, 이용승객의 증가 등으로 인한 수익성 개선 효과가 있을 것이라고 받아들여지고 있다. 버스운행시간을 단축시키기 위해서는 버스노선의 속도와 정류소의 머무는 시간을 분석하여 논스톱 패턴을 제공하여야 한다. 가장 중요한 요소는 승객을 유인하기 위해서는 운행시간을 단축하여야 하고, 운행의 영속성을 지녀야 한다. BRT구간의 목적은 운행시간 단축과 정시성에 있다. 부가적으로 BRT구간으로 인한 승객의 증가와 부도심권과의 긴밀한 유대관계가 주변주역의 개발 등 발전의 가능성도 높이고 있다. BRT구간은 그러한 교통의 인프라를 제공하고 있는 것이다(Levinson, H.S., 2007). 이러한 관점에서 BRT가 시내버스 승객유인을 얼마나 달성하고 있는지를 알아볼 필요가

있다.

BRT는 버스중앙차로 등으로 버스만을 전용도로로 통행하게 하여 원활한 대중교통 흐름과 이로 인한 정시성 확보를 목적으로 하고 있다. 이처럼 많은 예산을 들여 도로의 교통체계를 바꾸는 것은 대중교통에 우선권을 주는 것이다. 그만큼 투입 대비 운행성과에 얼마만큼의 실적을 올리고 있는지, 단순히 운송수입뿐만 아니라 시민의 대중교통 인식도를 높이고 편리한 수송 서비스를 제공하는 무형의 효과도 있을 것이다. BRT 등과 같이 준공영제 시내버스 운영체계 목표는 대중교통으로서 시내버스의 운영의 효율성을 증진시키는 데 있다(이원규 외, 2006).

시내버스의 운용을 유지하기 위해 매년 지방자치단체 보조금이 지급되고 있지만, 그 규모가 매년 늘어나고 있어 심각성이 대두된다. 그리하여 시내버스의 공익은 제고하되, 적자규모를 축소하기 위한 방안을 모색하여야 한다(안현진, 2010). BRT의 시행에는 많은 예산이 투입되었다. 이러한 예산을 들여 시행하는 정책이 얼마나 실효성을 거두고 있는지는 실증분석을 통하여 검증할 필요가 있다. 여기서 성과평가는 부산시의 BRT 정책효과를 분석·평가하고자 한다. 이를 바탕으로 향후 광주시 등을 비롯하여 BRT를 도입하고자 하는 지방자치단체에 효율적인 운용방안을 모색하는 데 밑거름이 되고자 한다.

2. 연구의 범위와 연구 방법

본 연구의 공간적 범위는 시내버스의 준공영제를 시행하고 있는 주요도시 중 부산을 대상으로 한다. 현재 BRT는 부산을 비롯하여 서울과 대전이 시행하고 있지만, 서울시는 이미 BRT구간의 시행이 많은 구간에서 시행하고 있고, 대전의 경우에는 1개 구간만을 시행하고 있어 단일 도시를 상대로 분석을 한다면, 2017년부터 본격적으로 시행하고 있는 부산에 대해 그동안 3년간의 운행성과를 분석하는 것이 가장 적절하다고 판단된다.

부산의 BRT 시행 시작은 2016년 12월부터이지만 본격적인 시행은 2017년 1월로 볼 수 있다. BRT 시행 시점을 기준으로 이전과 이후로 나누어 그 성과를 측정하고자 한다. BRT 시행 구간에 대해서는 BRT구간을 운행하는 시내버스 노선이 이 구간을 운행하는 비율에 따라 노선의 평가가 달라지므로 이를 감안하여 실험집단을 선정하였다.

부산의 내성교차로~중동역, 내성교차로-광무교까지의 BRT구간 운행하는 노선 중, BRT구간 10%이상 점유 운행 12개 노선의 2017년부터 2019년까지 3개 연도를 정책

후로 하고, 2015년부터 2016년까지는 정책 전으로 하였다. 그러나 BRT구간을 전수 조사하여 해당 노선에 대한 총 운행거리 대비 BRT구간 운행 비율 상이하다. BRT구간을 운행하는 비율이 0.5%에서 약 23.72%이다. 그리하여 BRT구간 운행 점유율이 10% 이상 노선을 분석대상 실험집단으로 선정하였다. 그 결과 BRT사업의 영향분석을 위한 실험집단 노선은 12개 노선, 통제집단은 BRT구간 운영을 전혀 하지 않는 버스노선으로 71개 노선을 확정된 후 성향점수매칭 기법을 진행하였다.

정부와 행정기관은 정책효과를 측정하는 프로그램 평가에 참여하여 얻어지는 부가가치로 정책효과를 판단(Rubin, D. B. 2001)하게 되는데, 정부의 지원정책에 참여한 집단이 정책에 참여하여 얻는 성과와 정책 참여집단이 참여하지 않았을 경우에 얻는 성과의 차이를 확인하는 것이라 할 수 있다(Heckman, et al., 1997). 즉, 정책개입 운영성과 차이는 시내버스 BRT구간의 실시한 후 운영성과와 동일한 BRT구간의 BRT를 시행하지 안 했을 경우를 가정한 운영실적과의 차이가 되는 것이다. 하지만 BRT구간의 효과를 평가하기 위해, 이 BRT구간에 대한 BRT구간을 실시하지 않았을 경우의 운영성과는 확인하기 불가능하므로, BRT구간의 운영성과를 평가하기 위해서는 선정된 BRT구간과, 이에 유사한 비 BRT구간을 선정하여 매칭해 보아야 한다.

유사한 비 BRT구간의 선정은 성향 점수 매칭(PSM) 기법을 활용하여 무작위 배정방식에 따라 랜덤하게 추출하여야 한다. 이때 BRT구간과, 유사한 비 BRT구간 간에 표본 선택 편익의(sample selection bias) 문제가 발생한다. 이러한 표본 선택 편익은 BRT구간과 비 BRT구간 간의 이질성이 원인이며, 비 BRT구간 집단의 선정 시 발생하는 다양한 원인에 의해 발생한다(Rubin, 1974; Rubin, 1978; Garen, 1984).

올바른 정책평가를 위해 정책 시행집단과 정책 미 시행집단 간의 기본적 성향을 유사하게 만들기 위한 방법으로 정책 미시행의 같은 조건으로 유사한 노선끼리의 매칭을 실시한 후 그 특성을 비교 분석하는 PSM(Propensity Score Matching) 방법을 통해 BRT구간 정책이 운영성과에 미치는 효과를 파악해 보고자 한다. BRT구간의 사업의 효과는 이 구간을 운행하는 버스노선이 정책수급을 받았을 때와 받지 않았을 경우의 차이를 비교하여 알 수 있다.

II. 이론적 배경 및 선행연구

1. 대중교통의 공공재 성격에 관한 논의

특정 서비스의 공급 주체가 공공부문이어야 하는가, 아니면 민간부문이어야 하는가의 문제가 항상 관심의 대상이 되어왔다. 그러나 공·사(public/private) 간의 내용, 의미, 범위는 각 사회의 생활 상황에 따라 다르며, 정치적 삶의 미덕이나 개인적 삶의 가치가 풍부하고 필수적인지 아니면 이들 미덕과 가치의 규범적 중요성이 다했는지 여부에 따라 달라질 수 있다. 대중교통(public transport)은 공·사 구분론적 관점, 규범적 관점, 문화인지적 관점 등 어떤 측면에서 보더라도 공공적인 특성을 가진다는 것을 알 수 있다. 버스운송서비스에 한정하더라도 비수익노선에 정부 자원이 투입되고 정부가 인가권을 가지고 영향을 미치며 시민들이 공공서비스로 인식한다면 버스운송은 공공적 성격을 띤다고 볼 수 있는 것이다(Heinrich and Fournier, 2004),

2. 시내버스에 대한 공공서비스의 패러다임 변화

시내버스는 대중교통으로서 도시민의 이동권을 보장하는 공공서비스의 한 축이다. 시내버스의 노선이 닿는 정류소의 위치는 인구의 유동성을 감안하여 선정하지만, 때로는 인구의 이동을 유도하기도 한다(Kari Watkins. et al., 2020). 반면, 정책노선의 정류소는 도심 외곽이나 낙후지역의 교통약자를 배려하기 위한 차원에서 최소한의 이동권을 보장하기 위해 설치된다. 실제로 Kari Watkins(2020)은 대중교통 서비스 수준에 따라 승객수가 변화한다는 것을 실험하였다. 승객에게 제공되는 대중교통 서비스의 양과 질은 대중교통 기관이 대중교통 이용객에 영향을 미칠 수 있는 중요한 지렛대임을 확인하였다.

이와 더불어 시내버스와 같은 도시 공공서비스에 대해 도시민이 공공소유권을 주장하는 것은, 버스회사가 소유권을 가지고 있지만, 노선 운영권이 없고, 경쟁원리가 작동되지 않으며, 시장경제의 논리가 작용하지 않는 시내버스 사업에 대해 지방자치단체가 막대한 보조금을 지급하고 있기 때문이다. 시내버스의 공공소유권(public ownership)에 대한 의미는, 지방자치단체에 재정적인 부담을 덜어주고, 시민에게 편리함과 양질의 서비스를 제공함을 목적으로 하는 하나의 이데올로기이다.

공공소유권(public ownership)은 두 가지 영역으로 구분할 수 있다. 하나는, 기회의

균등, 자유민주주의와 관련된 정부의 이상적인 이데올로기로서 ‘정치적 공정성’이라고 하는 것과, 다른 하나는, 시민이 일상에서 필요로 하는 재화를 공급받거나 복지의 차원에서 ‘경제적 공정성’을 나타내고 있다. 이들은 서로가 밀접하게 연결되어 있으며, 함께 이상적인 공동체에 대한 인류의 모든 관계를 포함하는 ‘사회 정의’로 인간 정의의 총합을 형성한다(Todd, 1918). 이는 시내버스 준공영제를 이론적으로 뒷받침하고 있다.

대중교통 부문에 있어서 일부 국가는, 그 특성을 고려하여 지역 시내버스의 운용체계를 공공행정의 역할로 여전히 보고 있다. 효과적이고 능률적인 방식으로 공공서비스 제공 역할을 수행할 수 있는, 집행력이 수반된 권한 있는 공공행정의 역량에 맞춰 시내버스 대중교통의 서비스가 이루어져야 된다고 보고 있다(Zatti, 2012).

3. BRT사업 관련 선행연구

은철규(2009)는 중앙버스전용차로 및 BRT시스템 도입에 따른 도시간선도로 횡단면 설계 유형에서 최적의 차로폭원을 도출하였다. 이를 근거로 한 다양한 횡단면을 구성하는데 연구의 범위를 설정하였으며, BRT시스템을 고려한 도시간선도로 횡단면 구성에 관한 연구를 주목적으로 교통사고와 차로폭원의 상관모형식을 도로유형별로 구축하여, 적정 차로폭원의 범위 및 최소 차로폭원을 제시하고, 적정 차로폭원의 범위 내에서 폭원 변화에 따른 대안을 작성하였다.

김성은(2019)은 부산에 BRT가 도입이 된 현 시점에서 BRT의 운영 실태를 파악하기 위해 현황을 분석하였다. 다차원척도법을 활용하여 시민들의 응답 특성에 따라 영향관계를 도출함으로써 시민들의 인지모델을 구축하였다.

나금환(2011)은 수도권 BRT 시범사업 정책집행에서 드러난 영향요인을 파악하였다. 연구방법으로 연구대상은 수도권교통본부에서 수도권 BRT 시범사업으로 집행한 서울~하남 간 BRT 노선과 청라~강서 간 노선을 대상으로 집행된 사례에서 나타난 문제점을 분석하고 정책집행에 영향을 미친 요인을 도출하였다.

이훈기·김종학(2005)은 대도시의 BRT 도입 전 광역버스 이용자를 대상으로 한 설문조사를 통해 통행행태의 변화를 분석하였고, SP(stated preference)자료에 근거한 교통수단 선택모형을 구축하여 BRT와 혼잡통행료 정책시나리오에 따른 교통수단 분담률 변화를 추정하였다.

김종진(2012)은 부산의 도시철도 계획 대안 BRT 노선을 검토함으로써 BRT 노선

도입에 대한 적합성을 검토하였다. 장래 대중교통 수요를 추정하여 도시철도 기본계획상의 도시철도 계획노선 시행시와 간선급행버스 도입시 발생하는 편익으로 타당성분석을 통해 도시철도계획노선의 도로 공급의 한계성을 극복하고 현재의 제한된 교통 인프라를 최대한 활용할 수 있는 신교통시스템 도입으로 부산, 울산광역권의 주요 간선 도로에 철도와 버스의 장점이 적절히 조화된 간선급행버스 도입으로의 대체 타당성을 분석하였다.

한중학(2011)은 인천의 ‘인천형 준공영제’ 시행과 함께 추진한 간선급행버스를 운영을 시작한 이후 1년이 지난 시점에서 시민 통행패턴과 부합하는 시내버스 노선으로 자리매김하고 있는가에 대한 검토의 필요성이 부각되었다.

선행연구를 통해서 준공영제 시내버스의 제도 개선 및 효율화 방안에 대한 연구가 다양하게 진행되었음을 알 수 있다. 특히 BRT사업과 관련된 연구는 대부분 현장의 운영상 기술적인 문제점의 지적과 이에 대한 개선안을 제안하거나 만족도, 영향요인 및 타당성을 분석하는 수준이었다.

본 연구는 시내버스 준공영제 이후 시내버스 노선의 효율화와 이용객의 유인정책으로 실시한 간선급행버스체계(BRT)실시에 따른 정책 결과를 분석하고자 한다. 지금까지 살펴본 BRT와 관련한 선행연구는 BRT에 대한 기술적인 측면 및 시민의 반응에서의 개선방안에 주를 이루었지만, 행적학적 측면에서의 정책효과를 제대로 측정할 사례는 드물었다, 따라서 막대한 예산을 들여 실시한 정책들이 얼마나 그 효과를 거두고 있는지에 대한 실증분석이 필요하고, 본 연구는 BRT구간 정책의 효과성을 실증적으로 검증하고자 한다. 정책효과가 긍정적으로 검증된 정책이라면 각 도시의 여건과 형편에 맞게 제도의 확장을 고려해 볼 수 있다.

Ⅲ. 연구설계

1. 영향분석을 위한 자료 수집

BRT 노선 관련 자료는 부산 134개 노선 중 시청에 BRT구간에 대한 정보공개 청구를 통하여 분석하고자 하는 BRT 구간의 경유 버스노선을 요청하고, 각 시청의 BIMS(버스정보시스템)을 통해 노선정보를 검색하여 정보공개 청구한 자료와 대조하였다. 그리고 각 도시의 각 연도별 인가노선에서 결측치와 중복노선을 제외하고, 노선의

조건이 5개년 일관되게 유지되는 노선만을 추출하였는데, 2017년도에 142개의 노선 중 8개 노선(모집단 134개), 2018년에 144개 노선 중 제외된 10개 노선, 2019년에는 145개 노선 중 11개 노선에 결측값 및 중복노선이 존재하였다.

이렇게 최종적으로 134개 노선을 모집단으로 하여 분석에 필요한 변수별 데이터를 정리하였다. 여기에서 BRT구간 운행노선 중 10% 이상의 노선을 실험집단으로 한 12개 노선과 비BRT구간 운행노선 71개의 통제집단을 제외한 51개 노선은 BRT구간 운행노선 중 10% 이하이며, 이들 노선은 제외하였다.

<표 3-1> 시내버스 노선수 및 분석대상 최종노선

| 연 도 | 노선수 |
|----------------------|-----|
| 2015년 | 140 |
| 2016년 | 141 |
| 2017년 | 142 |
| 2018년 | 144 |
| 2019년 | 145 |
| 분석 표본 노선수 | 134 |
| 비BRT구간 노선으로 선정한 비교집단 | 71 |
| BRT구간 분석 실험집단 | 12 |

2. 영향분석을 위한 변수

BRT사업의 영향평가를 위한 변수의 선정은 기본적으로 제4장 제5항에서 제시한 해당 사업의 프로그램논리모형에 따라 중단기적 결과에 초점을 맞추어 버스 이용객수, 버스 운행수입을 영향(결과)변수를 선정하였다. 장기적 결과를 측정할 수 있는 영향변수는 BRT사업만으로 달성될 수 없는 귀인성(attribution) 문제가 있기 때문이다. ‘이용객수’는 한 개 노선의 1년간 시내버스를 이용한 승객 수를 말한다. ‘운송수입’은 한 개 노선의 연간 수입을 말한다. 한 개의 노선에서 1년 동안 벌어들이는 총 수입을 지칭한다. 운송수입의 증가는 운송비용을 차감한 운송수지 개선에 기여하게 되므로 시내버스 이용객을 위한 서비스 개선 등, 시내버스 이용객 유인정책에 많은 노력을 기울여야 한다.

정책처리변수로는 BRT 도입 여부이며, 버스 노선의 특성을 나타내는 설명변수로는 운행거리, 소요시간, 운행대수, 배차간격, 운행횟수 등을 선정하였다. 이들 설명변수들은 시내버스 노선의 전체적인 운영특성이나 사회경제지표를 모두 반영하지 못하는 일부 한계가 있을 수 있다. 그리고 설명변수의 운행요소는 모두 평일 평상시를 기준으로

하였다. 운행조건은 출·퇴근시와 주말의 토요일과 일요일 등 배차간격, 운행횟수, 소요시간의 변동이 있는 특수한 시간대를 제외한 평일 평상시의 운행요소를 기준으로 하였다.

설명변수로서 ‘운행거리’는 시내버스의 출발기점부터 도착 종점까지의 거리이다. ‘소요시간’은 기점과 종점 사이의 도로주행 왕복을 위한 총 소요시간을 말한다. ‘운행대수’는 한 개 노선에 대한 1일 운행버스의 차량대수를 말한다. 배차간격의 정도에 따라 1일 총 운행대수는 차이가 있다. 배차간격도 길면 당연히 운행대수는 적게 운용된다. 심야버스를 추가로 운용하는 노선은 운행대수가 그만큼 늘어나게 된다. ‘배차간격’은 앞차 출발 시각 대비 뒤차 출발시각 간의 차이를 말한다. 통상 출·퇴근 및 통학 시간대에는 배차간격을 좁히고 점심시간을 전·후로 하여는 배차간격을 다소 길게 잡기도 한다. 그만큼 이용객수의 변화되는 시간대에 따라 유기적으로 배차간격을 조정하여 운용한다. 마지막으로 ‘운행횟수’는 1일 총 운행 횟수를 말하며, 한 노선의 운행대수 전체가 1일 몇 회를 운행하였는가를 말한다.

시내버스 정책 효과성 분석을 위한 영향(결과)변수, 정책처리변수, 설명(독립)변수의 조작적 정의는 <표 3-2>와 같다.

<표 3-2> 효과성 분석을 위한 독립 및 종속변수

| 구분 | 측정변수 | 변수의 조작적 정의 |
|------|------|------------------------------|
| 종속변수 | 이용객수 | 연간 이용객수 |
| | 운송수입 | 연간 운송수입 |
| 설명변수 | 운행거리 | 기점부터 종점까지 버스노선 도로주행 총 길이(km) |
| | 소요시간 | 기점-종점 버스노선 도로주행 왕복 총 소요시간(분) |
| | 운행대수 | 1일 운행 버스 차량 대수 |
| | 배차간격 | 앞차 출발 시각 대비 뒤차 출발시각 간의 차이(분) |
| | 운행횟수 | 1일 총 운행 횟수 |

3. 분석 방법

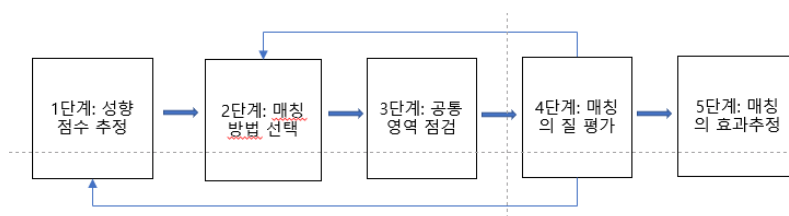
BRT구간에 대한 정책효과분석에 있어서 PSM분석기법을 활용한 특징을 기존연구와 대비하여 그 차별성을 다음과 같이 제시할 수 있다. 첫째, BRT구간에 대한 기존 연구들은 하나의 시점을 바탕으로 개선방향, 영향요인이나 교통공학적인 측면에서의

횡단면적 연구가 진행되었다. 하지만 정책효과는 일시적·단기간에 나타나는 것이 아니라 지속적이고 장기간에 걸쳐 발생한다는 점을 감안하여 정책의 효과를 시계열 연구로 보다 정확하게 분석(진선미 외, 2011: 38-69)하였다. 둘째, BRT구간의 정책수급 여부를 제외한 운행요소, 운행거리, 소요시간, 운행대수, 배차간격, 운행횟수 등을 관찰 가능한 특성의 설명변수로 사용하였다. 이렇게 시내버스 준공영제 정책 중 BRT구간의 올바른 정책평가를 위해 정책 참여집단과 비 참여집단 간의 PSM 분석을 이용하여 BRT구간 정책이 운행성과에 미치는 효과를 파악하였다.

성향점수매칭(PSM)은 실험집단과 유사한 통제집단을 인위적으로 구성하거나 찾는 방법으로 유사한 통제집단을 구성하기 위해서 실험집단 특성을 나타내는 변수를 활용하여 매칭할 유사한 집단을 구성한다. 이때 집단 특성을 나타내는 다양한 변수들을 단일차원으로 축소하여 점수화하는 것이 성향점수이다. 이를 이용하여 가까운 성향점수를 가지는 비교대상을 추출하게 된다(Rosenbaum and Rubin, 1983).

이 논문에서는 실험집단과 통제집단에서 영향변수로 정책평가의 기준이 되는 종속변수를 이용객수와 운송수입으로 하였다. 그리고 이에 대한 설명변수인 운행거리, 운행시간, 운행대수, 배차간격, 운행횟수 등의 변수들을 독립변수로 설정하여 logit 회귀분석을 통해 실험집단과 통제집단에 해당하는 표본들을 점수화한 성향점수를 산출하였다. 이 성향점수를 바탕으로 실험집단을 구성하는 관측치에 가장 가까운 성향점수를 가지는 노선들을 매칭하였다(Rubin and Thomas, 1992).

성향점수 매칭에 대한 구체적인 실험집단과 통제집단 구성 및 효과추정은 아래 <그림 3-1>과 같은 절차를 거쳐 이루어진다.



<그림 3-1> 성향점수 매칭(PSM)의 실행단계

Caliendo et al.(2008)

BRT구간의 효과성을 판단함에 있어 가장 큰 문제는 표본 선택 편의의 발생이다. BRT구간의 운행성과를 $E(Y^1)$ 이라 하고, 동일한 노선이 BRT가 아니었을 경우

운행성과를 $E(Y^0)$ 이라고 한다면 $\Delta = E(Y^1) - E(Y^0)$ 가 BRT구간으로 인한 운행성과가 되며, BRT구간의 모든 조건이 동일한 가운데 BRT구간 유무만을 변화되어 얻게 되는 결과와의 차이라 할 수 있다. 이러한 경우 시내버스 준공영제 정책의 효과는 BRT를 실시한 노선의 평균 운행성과인 참가자의 평균효과(ATT: average treatment effect on the treated)인 $\Delta_{ATT} = E(Y^1 - Y^0 | X, G=1)$ 로 정의할 수 있다(Wallsten, 2000). 이러한 평균효과를 얻기 위해서는 BRT구간에 대한 운행성과의 기댓값과 동일 노선의 대응적 사실 기댓값의 차이인 $\Delta_{ATT} = E(Y^1 - Y^0 | X, G=1) - E(Y^0 | X, G=1)$ 로 얻을 수 있는데, 대응적 사실 기댓값인 $E(Y^0 | X, G=1)$ 는 현실적으로 확인하기 어려우므로 대응적 사실에 근사하는 $E(Y^0 | X, G=0)$ 을 활용하게 된다. 이러한 경우 $E(Y^0 | X, G=1)$ 과 $E(Y^0 | X, G=0)$ 가 동일하지 않아 발생하는 값을 표본 선택 편의이라고 한다. 이는 분석에서 사용되는 통제집단에 따라 발생하는 차이라고 할 수 있다(Wallsten, 2000).

처리집단 특성변수 X 의 분포범위를 $S_{1X} = \{X | f(X|G=1) > 0\}$, 통제집단 특성변수의 분포범위를 $S_{0X} = \{X | f(X|G=0) > 0\}$ 라 하고, 이들 두개 X 의 분포범위들의 공통영역을 $S_X = S_{1X} \cap S_{0X}$ 이라 하면 편의는 다음 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\int_{S_X} E(Y^0 | X, G=1) dF(X|G=1) - \int_{S_X} E(Y^0 | X, G=0) dF(X|G=0) \text{ ----- (1)}$$

이를 세 가지 편의(B_1, B_2, B_3)로 분해하여 나타내면 아래 식 (2)와 같다.

$$B_1 = \int_{S_X \setminus S_X} E(Y^0 | X, G=1) dF(X|G=1) - \int_{S_X \setminus S_X} E(Y^0 | X, G=0) dF(X|G=0) \text{ ----- (2)}$$

$$B_2 = \int_{S_X} E(Y^0 | X, G=0) [dF(X|G=1) - dF(X|G=0)]$$

$$B_3 = P\bar{B}_{S_X}$$

이 중 처리집단과 통제집단의 범위가 달라 발생하는 편의(B_1)는 다음과 같이 설명할 수 있다. 만일 BRT구간이 운행거리가 50km이고 비 BRT구간이 10km의 단거리라고 한다면 노선의 특성이 이질적으로 결정되어 표본 선택 편의가 발생할 것이다. 이러한 편의를 최소화하기 위해 처리집단과 가장 유사한 특성을 지닌 모집단에서 통제집단을

선정하여야 한다.

다음으로 특성변수의 규모가 유사하더라도 분포형태가 다른 경우 발생하는 편의(B_2)는 $E(Y^1|X, G=1)$ 과 $E(Y^0|X, G=0)$ 을 처리집단 특성변수의 누적확률밀도함수 $F(X|G=1)$ 와 통제집단 특성변수의 누적확률밀도함수 $F(X|G=0)$ 을 가중치로 사용한 가중평균의 차이로 통제집단의 가중치 $F(X|G=0)$ 이 대응적 사실의 분포함수인 $F(X|G=1)$ 과 일치하지 않는 경우 발생한다.

마지막으로 처리집단과 통제집단이 공통적인 요인으로 발생하는 편의(B_3)는 연구자가 확인할 수 없는 요인들에 의해 발생하며, 해커만 2단계 모형이 이중차분법 모형이나 매칭을 통한 분석방법보다 편의가 크게 발생하는 것을 실증분석 하였다(Heckman et al., 1998; Glazerman et al., 2003; Tucker, 2010 재인용). 따라서 엄격한 분석 대상의 선정과 함께 방법론에 발생하는 편의도 고려해야 편의를 최소화할 수 있다.

실험집단과 통제집단을 나누는 기준이 되는 변수를 종속변수로 설정하고, 종속변수에 영향을 주는 변수들을 독립변수로 설정하여 probit 혹은 logit 회귀분석을 통해 실험집단과 통제집단에 해당하는 표본들을 점수화한 것이 성향점수이다. 이 성향점수를 기반으로 실험집단을 구성하는 관측치에 가장 가까운 성향점수를 가지는 관측치를 매칭하여 실험집단과 통제집단을 구성하는 데 이러한 일련의 과정을 성향점수매칭(P propensity Score Matching)이라고 한다(서민지, 2012).

이와 같은 경우 처리집단 또는 실험집단(BRT구간)과 통제집단(비 BRT구간)의 대상선정과 분석방법론에 따라 표본 선택 편의가 발생하여 BRT 정책효과는 과소 또는 과대 추정될 수 있다(Heckman et al., 1998). PSM방법은 비실험적(non-experimental) 연구방법으로 가장 적합한 비교집단을 인위적으로 구성하거나 찾는 방법의 하나이다.

$$\Delta = E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=0) \text{-----} (3)$$

$$= [E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=1)] + [E(Y^0|G=1) - E(Y^0|G=0)]$$

$E(Y^1|G=1)$: BRT구간의 운행성과

$E(Y^1|G=0)$: 비 BRT구간의 운행성과

위 식(3)에서 $E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=0)$ 은 BRT 시행 노선과 비 BRT구간 간의

운행성과 차이로 나타나는 정책효과이며, 이는 표본 선택 편익의 $E(Y^0|G=1) - E(Y^0|G=0)$ 를 제거한 $E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=1)$ 로 나타낼 수 있다. 즉, $E(Y^1|G=1) - E(Y^0|G=1)$ 은 BRT 시행 노선의 운행성과 동일한 노선이 비 BRT구간이었을 경우 운행성과 차이인 처리평균효과(ATT: average effect of treatment on the treated)이다(Dawid, 1979).

이러한 표본 선택편의 문제를 해결하기 위해서는 ‘조건부 독립성의 가정’이 선행되어야 한다(Rosenbaum and Rubin, 1983). 즉, 결과물들이 사업 참여와 독립이라면 매칭된 비교집단의 사용은 처치의 평균영향의 불편 추정값을 산출하기 때문에 임의추출과 동일한 추정값을 산출할 것이다.

성향점수매칭은 다음의 2가지 가정이 성립해야 하는데, 첫 번째는 관찰 가능한 특성들(X)이 동일한 버스노선들이라면 BRT 실시 유무와 상관없이 동일한 운행성과를 가정한 조건부 독립 가정(CIA: conditional independence assumption)이 필수적이며, 다음 식(4)과 같이 나타낼 수 있다(Rosenbaum et al., 1983).

$$Y_{i1}, Y_{i0} \perp G_i | X_i \text{-----} (4)$$

CIA의 가정이 만족되고 각각의 노선에 대한 설명변수들 X_i 와 $Y_{i1}, Y_{i0} - G_i | X_i, \forall i$ 의 벡터가 관측 가능하다면 $Y_i = G_i Y_{i1} + (1 - G_i) Y_{i0}$ 일 때,

$$\begin{aligned} G | G=1 &\equiv E(Y_{i1} | G_i = 1) - E(Y_{i0} | G_i = 1) \\ &= E_{X_i} \{ E(Y_i | X_i, G_i = 1) - E(Y_i | X_i, G_i = 0) | G_i = 1 \} \text{ 일 것이다.} \end{aligned}$$

또한 BRT구간과 비 BRT구간이 BRT구간일 확률이 유사한 분포를 가져야 한다는 공통 영역 조건(common support condition)으로 두 집단의 매칭을 위해서는 특성변수의 분포가 유사해야만 매칭을 할 수 있기 때문이다. 이는 아래 식 (5)과 같이 나타낼 수 있다(Rosenbaum et al., 1983).

$$0 < \Pr(G = 1 | X) < 1 \text{-----} (5)$$

성향점수는 참여자들의 관찰 가능한 특성들이 주어진 경우 정책에 참여할 조건부 확률 $PS = \Pr(G = 1 | X)$ 로 아래 식 (6)의 정리가 성립할 수 있다.

$$\textcircled{3} \quad X \perp G \perp P(X) \text{-----} (6)$$

$$\textcircled{2} \quad (Y^0, Y^1) \perp GP(X), 0 < \Pr(G=1|P(X)) < 1$$

즉, 성향점수를 통해 처리집단과 통제집단을 매칭하는 경우 각 집단의 관찰 가능한 특성들은 동일한 분포를 갖게 되며, 무작위 배정과 같은 표본선택 편이가 최대한 통제된 효과를 추정할 수 있다. 또한 일반적으로 관찰 가능한 특성변수들을 활용하여 매칭하는 경우에도 편이를 최소화할 수 있으나, 만일 매칭에 사용되는 변수가 4개인 경우 가능한 조합은 $2^4 = 16$ 개가 되며 변수의 개수가 많아질수록 처리집단과 통제집단이 매칭되는 것이 어려워져 차원의 문제(dimensionality problem)가 발생한다.

이러한 조건부 독립 가정 및 공동영역조건이 충족할 경우 정책의 효과는 다음 식 (7)와 같다(Rosenbaum and Rubin. 1983).

$$\begin{aligned} \Delta_{ATT} &= E(Y^1|X, G=1) - E(Y^0|X, G=1) \text{-----} (7) \\ &= E(Y^1|X, G=1) - E(Y^0|X, G=0) \end{aligned}$$

위 식 (7)에서 관찰 가능한 $E(Y^0|X, G=0)$ 과 $E(Y^0|X, G=1)$ 은 위 식 (4), $Y^0, Y^1 \perp G|X$ 의 가정에 따라 동일하기 때문에 표본 선택 편이를 최소화할 수 있다(Hirano, K., & Imbens, G. W. 2001; Becker, S, O. and A. Ichino, 2002; Abadie, A. and D. Drukker, and JL. Herr, and GW .Imbens, 2004).

PSM 방법 중 최근접 이웃 매칭의 경우 처리집단의 성향점수를 기준으로 통제집단에서 가장 가까운 개체를 매칭하는 것으로 통제집단과 처리집단의 특성에 차이가 나는 경우 성향점수 차이가 큰 개체가 매칭될 수 있으며, 복원/비복원에 따라 매칭된 대상의 결과가 달라지는 단점이 있다. 이에 반해 칼리퍼 매칭은 처리집단 개체의 성향점수에서 일정수준 벗어날 경우 매칭하지 않으므로 최근접 이웃 매칭의 단점을 보완할 수 있다. 성향점수는 로지스틱 분석으로 산출하며, 다음 식 (8)과 같다(Austin, 2010).

$$\log \frac{P\{G=1|x_1, x_2, \dots, x_p\}}{P\{G=0|x_1, x_2, \dots, x_p\}} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \text{-----} (8)$$

위 식 (7)의 $0 < \Pr(G=1|X) < 1$ 에서 G 는 BRT구간 유·무, x_1, x_2, \dots, x_p 는 관찰 가능한 특성들의 실제 관측치로 BRT 실시 노선에 해당할 확률(성향점수)은 아래 식(9)와 같다(Austin, 2010; 허명희, 2014).

$$\frac{\exp(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_p x_p)}{1 + \exp(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_p x_p)} \text{-----(9)}$$

PSM방법의 성공적인 효과 추정을 위해서는 성향점수 추정식의 특정화(specification)가 중요한 문제이다. 일반적으로 성향점수 추정식에는 설명변수(X)들과 함께, 독립변수들의 고차항(higher order terms : $X^2, X^3 \dots$)과 교차항(interaction term)이 포함된다. 특히 성향점수 추정식의 특정화는 사업집단과 비교집단 간의 ‘균형’(balance)을 달성했는지 여부를 반복적으로 검증한 후 균형 여부에 따라 다시 수정되는데, 고차항과 교차항은 주로 균형화가 달성되지 않은 독립변수들에 한해서 식에 포함되는 것이 일반적이다. 성향점수 추정에 대한 간단한 알고리즘은 다음과 같다(Austin, 2010).

첫째, logit 모형을 이용하여 성향점수를 추정한다.

둘째, 추정된 성향점수는 낮은 것에서 높은 순으로 데이터를 분류한다.

셋째, 모든 관측치들을 계층화(stratify)하면 각 계층의 사업집단과 비교집단의 추정된 성향점수는 가까울(차이가 유의미하지 않을 것이다) 것이다. 예로써 같은 점수범위(0-0.2, ..., 0.8-1)의 계층들 안에 관측치들을 나눔으로써 시작한다.

넷째, 통계적 검정은 모든 계층(블록)들에 포함되는 사업집단과 비교집단의 모든 설명변수들의 평균차(difference-in-means)가 유의하지 않아야 한다. ①모든 설명변수들이 모든 계층(블록)들에서 사업집단과 비교집단의 관측치들 사이에서 균형을 이룬다면 멈춘다. ②만일 몇 몇 계층에서 설명변수 i 가 균형이 아니라면 계층을 더 작게 나누고 다시 평가한다. ③모든 계층에서 설명변수 i 가 균형이 아니라면, 설명변수 i 의 교차항 또는 고차항을 logit 모형에 추가하고 다시 평가한다(Brookhart et al., 2006).

위와 같은 추정절차를 거쳐 매칭이 된 사업집단과 비교집단의 BRT구간의 운행성과 차이에 대한 t-test(BRT구간집단의 평균 운행성과 - 매칭된 비교집단의 평균 운행성과)를 수행하여 귀무가설 (H_0 : difference=0)에서 0보다 작으면 귀무가설이

기각되고, 차이가 0보다 크다면, BRT구간이 운행성과에 대해 보완관계가 있다고 본다. 그러나 차이가 0보다 작다면 BRT구간의 정책은 시내버스 노선 자체에 효과성을 거두지 못하고 있다고 할 수 있다(Brookhart et al., 2006).

IV. 실증분석

1. BRT에 대한 효과분석 절차 및 방법

1) 성향점수 추정

BRT구간 시행 노선에 대한 정책효과는 BRT구간을 운행한 노선이 BRT구간을 실시하지 않았을 경우를 전제로 비BRT구간 노선집단에서 유사한 노선을 PSM기법으로 추출하여 BRT구간 시행 후의 차이를 구한다. PSM절차를 이행하기 위해 실험집단과 통제집단의 버스노선을 대상으로 성향점수를 추정하였다. PSM 과정에서 시행된 logit의 종속변수는 BRT노선=1 / 비BRT노선=0으로 코딩된 binary 변수이다. logit에서 추정된 계수를 사용해서 PSM을 진행하고, PSM을 진행하기 위해서 설정된 target변수가 이용객수와 운송수입이다. 도출하고자 하는 결과변수인 이용객수와 운송수입을 종속변수로 하고, 이에 영향을 미치는 운행요소 5가지를 설명변수로 하는 로짓모형(logit model)을 통해 추정하였다. 성향점수를 기반으로 한 매칭을 통해 실험집단과 유사한 통제집단의 운행요소를 추출하여 실험집단과의 차이를 알아낸다.

성향점수 추정을 위한 설명변수는 운행대수, 운행거리, 소요시간, 운행횟수, 배차간격이다. 이용객수와 운송수입은 종속변수(영향변수)로 선정하였다. 운송수입은 도시의 금액이 매우 크고, 그 만큼 진동폭이 상당하다. 이로 인해 통계적 오류가 발생할 가능성 크므로 운송수입에 자연로그를 사용하여 안정적인 변수로 변환한 다음 통계분석을 실시하였다.

2) 성향점수에 의한 매칭방법

매칭방법으로 근거리 이웃매칭(Nearest Neighbor Matching), 칼리퍼 매칭, 커널 매칭

등이 있다. 커널 매칭(Kernel Matching)은 자료의 정보를 충분히 이용하기 위해 비교집단의 모든 실험집단이 매칭될 때까지 매칭을 수행하는 방식으로, 성향점수의 거리가 가까울수록 큰 가중치를 부여한다. 캘리퍼 매칭(caliper matching)은 매칭의 범위(caliper)를 정해 두고 성향점수가 범위 내에 포함되는 경우만을 매칭에 활용하는 방법으로, 매칭의 범위(caliper)는 연구자의 재량에 따라 유연하게 정해지며 범위가 좁을수록 매칭의 정확도는 높아진다.

본 연구에서는 매칭의 방법이 변하더라도 매칭의 결과가 안정적으로 유지되는지를 확인하기 위해 근거리 이웃매칭, 커널매칭 방법을 이용하였다. 결국 매칭방법은, 결과값의 안정성(consistency) 여부를 확인할 수 있는 방법으로 분석을 진행하였다.

3) 실험집단과 통제집단의 동질성 검증

성향점수에 따른 매칭 이후에는 매칭의 결과로서 실험집단과 통제집단의 동질성을 확인하였다. 동질성 검증은 첫 번째, 두 집단의 매칭 변수값을 비교하여 유의미한 차이가 없을 경우 실험집단과 통제집단의 동질성이 확보되었다고 보는 것이고, 둘째는 실험집단과 통제집단의 성향점수 분포에서 중첩(overlapping)이 존재하는지를 확인하는 것이다(Caliendo & Kopeing, 2008; 최슬기, 2020). 만일 두 집단의 성향점수 분포에서 중첩이 존재하지 않거나, 중첩의 범위가 지나치게 좁을 경우 매칭이 적절하게 이루어졌다고 보기는 어려울 것이다(최슬기, 2020).

4) 평균처리효과 추정

성향점수매칭의 마지막 절차로서 매칭한 실험집단과 통제집단의 결과값의 평균을 비교하였다. 종속변수인 이용객수와 운송수입의 변화가 유의미한 차이를 나타나는지를 살펴보았다.

일반적으로 매칭 이후 처리효과 추정은 ATE(평균처리효과)와 ATT(실험집단의 평균처리효과)를 구하기 위한 두 집단 간 차이검증을 이용한다. 실험집단과 통제집단 간 성향점수에서 조건부 독립성과 공통지지영역이 가정된다면 PSM기법에 의한 평균처리효과는 공통지지영역에서 기대 결과들의 평균차이와 같다.

그리고 추정된 처리효과가 관측되지 않은 혼동요인(confounding variables)에 얼마나 민감하지를 분석하기 위해 민감도분석을 실시할 수도 있다.

2. 분석 결과

1) BRT구간 및 비BRT구간 노선의 특성

부산의 BRT구간 분석에 사용할 데이터의 특성은 <표 4-1>와 같다. 비BRT구간 노선은 전혀 BRT구간을 운행하지 않는 버스노선이며, BRT구간 해당노선은 해당 노선이 총 운행거리에 대한 BRT구간이 10%이상을 차지하는 노선을 선정하였다. 그렇게 선정된 노선이 실험집단으로 12개 노선이다. 이들은 BRT시행한 시점에 따라 분석적용을 달리하였다. 아래 <표 4-1>은 기초통계량에서 표본으로 추출한 BRT 구간 노선의 관측치 수는 22개이다.

통제집단 비BRT구간 해당 노선은 71개 노선이 2015년부터 2019년까지의 355개 노선과 BRT구간 해당 노선 중 BRT시행 이전의 기간 동안 5개 노선이 2015년부터 2016년까지 2년 동안 5개 노선이 10개 노선과 7개 노선은 2015년부터 2018년까지 4년 동안 28개 노선을 합하면, 도합 38개 노선이다. 이를 위 순수 비BRT구간 해당 노선 355개와 합하면, 관측치 393개 노선이 비BRT구간 노선이다. 노선의 특성을 나타내는 설명변수로 운행대수, 운행거리, 소요시간, 운행횟수, 배차간격 등의 운행요소를 설정하였다. 결과(종속)변수는 이용객수와 로그수입이다.

아래 <표 4-1>은 기초통계량에서 표본으로 추출한 BRT구간은 22개 노선이다. 전체 83개 노선에 대한 5개년도 즉, 2015부터 2019년까지 분석범위의 5개 연도를 곱하면 415개 노선이다. 이중 BRT구간을 빼면, 비BRT구간은 393개 노선이다. 비BRT구간의 독립변수 운행요소의 평균은 운행대수가 15.12대이며, 운행거리는 61.59km, 소요시간은 142.58분, 운행횟수는 77.26회, 배차간격은 15.70분이다. BRT구간의 독립변수 운행요소의 평균은 운행대수가 22.22대이며, 운행거리는 58.77km, 소요시간은 151.72분, 운행횟수는 51.95회, 배차간격은 19.86분이다.

〈표 4-1〉 분석 대상 버스노선의 특성

| | 전체 | | BRT노선 (A) (n = 22) | | 비BRT 노선 (B) (n = 393) | | t- test (B- A=0) |
|------|---------|---------|-----------------------|---------|--------------------------|---------|---------------------------|
| | 평균 | 표준편차 | 평균 | 표준편차 | 평균 | 표준편차 | |
| 운행대수 | 15.50 | 9.27 | 22.23 | 9.25 | 15.13 | 9.14 | - 3.55*** |
| 운행거리 | 61.44 | 34.42 | 59.77 | 30.22 | 61.59 | 34.67 | 0.37 |
| 소요시간 | 143.07 | 38.50 | 151.73 | 42.23 | 142.59 | 38.28 | - 1.09 |
| 운행횟수 | 75.93 | 44.95 | 51.95 | 45.68 | 77.27 | 44.59 | 2.59* |
| 배차간격 | 15.92 | 8.84 | 19.86 | 7.76 | 15.80 | 8.85 | - 2.16* |
| 이용객수 | 2990.08 | 2278.30 | 4653.41 | 2248.25 | 2896.97 | 2246.60 | - 3.57*** |
| 로그수입 | 21.27 | 1.26 | 22.00 | 0.75 | 21.23 | 1.27 | - 2.81** |

Note. * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$. 5개 노선은 2017년부터 BRT 시행 (n = 5 X 3); 7개 노선(9701)은 2019년부터 BRT 시행(n = 7 X 1). 이용객수 단위 = 1,000명.

위 〈표 4-1〉 t-test를 참조하면, 운행거리와 소요시간을 제외하고는 $p > 0.05$ 이하에서 모두 유의미한 차이를 보여주고 있다. 이는 BRT노선과 비BRT노선이 동질적이지 않다는 것을 나타내며 이들을 각각 실험집단과 통제집단으로 구분하여 평균처리효과를 추정하는 경우 선택편의(selection bias)로 인해 타당한 추정치를 구할 수 없게 된다.

2) 성향점수 추정을 위한 로짓분석

〈표 4-2〉 logit 결과

(N = 415): 1=BRT, 0=non-BRT

| | 계수 | 표준오차 | 95% C.I. | |
|------|-------|------|----------|------|
| | | | 하위 | 상위 |
| 운행대수 | 0.07* | 0.03 | 0.01 | 0.12 |

| | | | | |
|--------------|--------|------|-------|-------|
| 운행거리 | -0.01 | 0.01 | -0.03 | 0.01 |
| 소요시간 | 0.01 | 0.01 | -0.01 | 0.03 |
| 운행횟수 | -0.01 | 0.01 | -0.02 | 0.01 |
| 배차간격 | 0.01 | 0.04 | -0.07 | 0.10 |
| 상수 | -4.58* | 1.77 | -8.05 | -1.11 |
| Pseudo R^2 | 0.09 | | | |
| Chi^2 | 14.99* | | | |

Note. * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001.

로짓모형은 성향점수를 구하기 위해 실행하는 것으로, 이때 종속변수는 0과 1로 코딩된 BRT(=1)/비BRT(=0)이다. Pseudo R^2 는 0.09로서 설명변수들이 BRT여부에 대해 9%의 설명력을 지닌다. 또한 Chi^2 가 14.99로 위 분석에서는 0.05 수준에서 유의미하므로 로지스틱 회귀분석이 유의미한 모델임을 알 수 있다. 로지스틱 회귀분석의 모델 적합도(goodness of model-fit)는 현재 모델이 사용가능한 것으로 나타났다.

계수(marginal effect)는 각각의 변수가 BRT구간에 얼마나 영향을 주느냐를 설명하는 수치인데, 본 PSM분석 과정에서는 가중치(weight)를 산정하기 위해 필요한 수치로서 추정된 값들이다. 또한 Chi^2 값이 유의미하므로 본 로지스틱에서 도출해낸 각 계수(marginal effect)를 사용하여 PSM 가중치를 추정할 수 있다. 즉, 로지스틱을 통해 추정해 낸 각 설명변수의 marginal effect를 사용하여 매칭이 되는 비BRT구간에 적용되는 가중치를 구할 수 있고, logit 분석으로 추정된 정책 처리확률을 이용하여 BRT구간 노선 집단을, 이에 대한 비BRT구간 노선집단과 매칭 하였다.

BRT구간 노선 선정과 설명변수들은 BRT구간과 유의미한 관계가 없다. 95% 신뢰구간에서 운행대수는 0.01에서 0.12, 운행거리는 -0.03부터 0.01, 소요시간은 -0.01부터 0.03으로 나타났다. 그리고 운행횟수는 -0.02부터 0.01로, 배차간격은 -0.07에서 0.10으로 나타났다.

3) 실험집단과 통제집단의 동질성 확인

위 로지스틱 회귀분석을 통해 운행요소의 추정치를 계산하고, 매칭 결과 실험집단과

통제집단의 동질성이 확보되었는지를 확인하였다. 아래 <표 4-3>부터 <표 4-8>을 보면, 매칭 이전에 운행요소들의 특성을 비교했을 때는 대부분의 변수에서 두 집단 간 유의미한 차이가 존재한다는 것을 알 수 있다. 성향점수에 근거한 매칭 이후에는 실험집단과 통제집단은 모든 변수들이 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않고 있다. 이러한 결과는 근거리 이웃 매칭, 커널매칭, 칼리퍼 매칭방법을 달리했을 때에도 유사한 결과로 나타났다

<표 4-3> 성향점수 매칭, 실험집단과 통제집단의 동질성 검증(T-test): 근거리 이웃 매칭

| 구분 | 매칭 이전 | | | 매칭 이후 | | |
|------|---------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|
| | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value |
| 운행대수 | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.864 | - 0.21 |
| 운행거리 | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 58.773 | 64.591 | - 0.60 |
| 소요시간 | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 154.18 | - 0.20 |
| 운행횟수 | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 51.955 | 51.523 | 0.03 |
| 배차간격 | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 19.068 | 0.36 |

주) t값의 유의수준: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 종속변수 : 이용객수

<표 4-4> 성향점수 매칭, 실험집단과 통제집단의 동질성 검증(T-test): 칼리퍼 매칭

| 구분 | 매칭 이전 | | | 매칭 이후 | | |
|------|---------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|
| | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value |
| 운행대수 | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.864 | - 0.21 |
| 운행거리 | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 58.773 | 64.591 | - 0.60 |
| 소요시간 | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 154.18 | - 0.20 |
| 운행횟수 | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 51.95 | 51.523 | 0.03 |
| 배차간격 | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 19.068 | 0.36 |

주) t값의 유의수준: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 종속변수 : 이용객수

<표 4-5> 성향점수 매칭, 실험집단과 통제집단의 동질성 검증(T-test): 커널 매칭

| 구분 | 매칭 이전 | 매칭 이후 |
|----|-------|-------|
|----|-------|-------|

| | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value |
|------|---------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|
| 운행대수 | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.083 | 0.05 |
| 운행거리 | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 58.773 | 59.95 | - 0.13 |
| 소요시간 | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 150.45 | 0.11 |
| 운행횟수 | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 51.955 | 58.212 | - 0.49 |
| 배차간격 | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 18.89 | 0.43 |

주) t값의 유의수준: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 종속변수 : 이용객수

<표 4-6> 성향점수 매칭, 실험집단과 통제집단의 동질성 검증(T-test): 근거리 이웃 매칭

| 구분 | 매칭 이전 | | | 매칭 이후 | | |
|------|---------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|
| | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value |
| 운행대수 | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.864 | - 0.21 |
| 운행거리 | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 58.773 | 64.591 | - 0.60 |
| 소요시간 | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 154.18 | - 0.20 |
| 운행횟수 | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 51.955 | 51.523 | 0.03 |
| 배차간격 | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 19.068 | 0.36 |

주) t값의 유의수준: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 종속변수 : 로그수입

<표 4-7> 성향점수 매칭, 실험집단과 통제집단의 동질성 검증(T-test): 캘리포 매칭

| 구분 | 매칭 이전 | | | 매칭 이후 | | |
|------|---------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|
| | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value |
| 운행대수 | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 16.571 | 16.571 | 0.00 |
| 운행거리 | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 48 | 48 | 0.00 |
| 소요시간 | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 130 | 130 | 0.00 |
| 운행횟수 | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 64.857 | 64.857 | 0.00 |
| 배차간격 | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 18.857 | 18.857 | 0.00 |

주) t값의 유의수준: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 종속변수 : 로그수입

<표 4-8> 성향점수 매칭, 실험집단과 통제집단의 동질성 검증(T-test): 커널 매칭

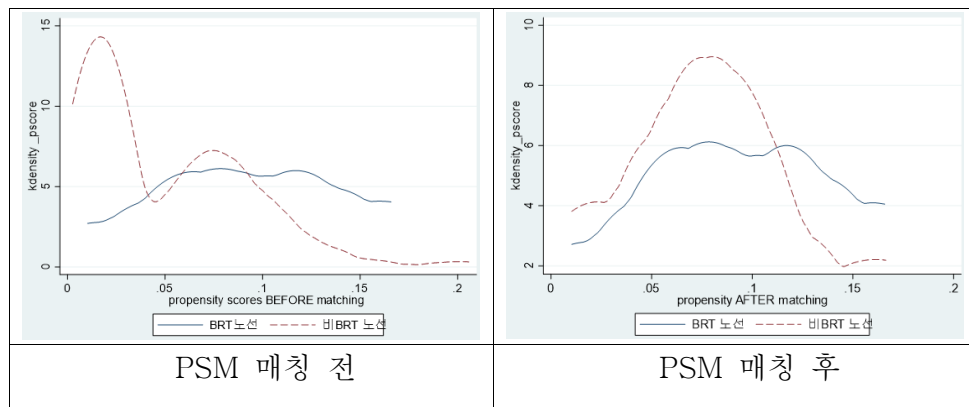
| 구분 | 매칭 이전 | | | 매칭 이후 | | |
|------|---------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|
| | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value | BRT (실험집단) | 비BRT (통제집단) | t- value |
| 운행대수 | 22.227 | 15.127 | 3.55 | 22.227 | 22.083 | 0.00 |
| 운행거리 | 58.773 | 61.59 | - 0.37 | 58.773 | 59.95 | - 0.13 |
| 소요시간 | 151.73 | 142.59 | 1.08 | 151.73 | 150.45 | 0.11 |
| 운행횟수 | 51.955 | 77.267 | - 2.59 | 51.955 | 58.212 | - 0.49 |
| 배차간격 | 19.864 | 15.702 | 2.16 | 19.864 | 18.89 | 0.43 |

주) t값의 유의수준: * p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01 종속변수 : 로그수입

2015-2019년 기간 동안 매칭 된 노선은 BRT 22개에 대한, 비BRT가 27개이다. 모든 설명변수에서 매칭전의 평균을 보면, BRT노선과 비BRT노선 사이에 수치 차이가 크게 나고 있지만 PSM을 사용한 매칭 이후는, BRT 정책시행 노선집단과 비 BRT구간집단의 성향점수 분포는 상당히 좁혀져 유사해진 것을 확인할 수 있다. t-test 결과에서도 모든 설명변수들이 BRT구간과 비BRT구간이 유의미하지 않게 차이가 나서 결과적으로 성공적인 PSM 매칭이 만들어 졌음을 알 수 있다.

BRT구간 집단과 비 BRT구간 집단 간의 성향점수 분포는 아래 <그림 4-1> 그래프와 같다. 그림에서도 보는 바와 같이 매칭이후 propensity score의 그래프가 유사하게 나타냄을 알 수 있다. 가로는 성향점수, 세로는 로지스틱으로 추정된 확률이며, 매칭 후에는 상당한 차이가 감소하고 있음을 알 수 있다. 여기에서 가로 지수는 성향점수, 세로 지수는 로지스틱으로 추정되는 확률이다.

매칭 전·후의 현황을 그래프로 표시하면, 아래 <그림 4-1>과 같다.



<그림 4-1> 부산 매칭 전·후 결과 그래프

4) 평균처리효과 추정

성향매칭 추정기법에 따라 추정값이 변할 때가 자주 발생한다. 이는 데이터의 특성에 따라 매칭 방법에 의한 추정치가 달라지는 현상이다. 따라서 이러한 경우 추정된 성향 매칭 중에서 가장 매칭이 잘된 방법을 찾아야 한다. 유사한 방식들로 현재 이전 분석들에 사용했던 “caliper를 사용한 flexible 방식”이 적절한 결과를 도출할 수 있으므로 이 방법을 선택하였다.

커널 방식을 통한 매칭은 대조군을 실험군과 적절하게 맞도록 조정하지 못했다. 이는 아래 <표 4-9>의 부산의 이용객수에 대한 PSM 추정결과 Kernel 열에서 확인할 수 있다. 실험집단의 매칭이 된 이후 이용객수 평균인 ATT가 매칭 전과 이용객수 평균인 Unmatched와 거의 동일한 것을 보면, 부산의 경우 Kernel 방식 매칭은 유효하지 않은 것으로 판단이 된다. 그러나 flexible한 방식이 caliper를 사용한 방법 혹은 flexible하지 않은 방식인 caliper를 사용하지 않은 방법 모두 동일하게 나오므로 flexible 한 caliper 사용 방식에 문제가 없다.

<표 4-9> 매칭 전·후 이용객수 비교: 1:1 근거리이웃, 캘리퍼, 커널

| | | BRT 노선 (A) | 비BRT노선 (B) | 승객 수 차이 | t-test (A-B=0) |
|---------|--------------------|---------------|---------------|------------|---------------------------|
| 매칭 전 | 단순비교 | 4653.40 | 2897.00 | 1756.40 | 3.57*** (p = 0.000) |
| | 1:1 근거리이웃 매칭 | 4653.40 | 4579.80 | 73.60 | 0.10 (p = 0.920) |
| | 커널 매칭 | 4653.40 | 4579.50 | 73.30 | 0.10 (p = 0.919) |

Note. * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001. 승객 수 단위 = 1,000명

위 <표 4-9>는 BRT구간 해당 노선과 비BRT구간 해당 노선의 승객수 차이는 두

매칭방법에 따라 다소 차이는 있지만, 비BRT노선과 BRT노선을 같은 조건에서 두 노선의 승객수를 유사하게 맞추었다. 따라서 1:1근거리 이웃 매칭에서는 73,600명이 증가하였으며, 커널 매칭방법에서는 73,300명이 증가하였다.

다음은 로그수입에 대하여 매칭 전·후를 살펴본다.

〈표 4-10〉 매칭 전·후 로그수입 비교: 1:1 근거리이웃 매칭, 커널 매칭

| | | BRT 노선 (A) | 비BRT노선 (B) | 로그수입 차이 | t-test (A-B=0) |
|---------|--------------------|---------------|---------------|------------|-----------------------|
| 매칭 전 | 단순비교 | 22.00 | 21.23 | 0.77 | 2.81** (p = 0.005) |
| PSM | 1:1 근거리이웃 매칭 | 22.00 | 21.92 | 0.08 | 0.28 (p = 0.777) |
| | 커널 매칭 | 22.00 | 21.91 | 0.09 | 0.32 (p = 0.748) |

Note. * p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001.

설명변수들을 기준으로 BRT구간 해당노선과 비BRT구간 해당노선을 매칭시키고 난 뒤, 그 전과 후의 로그수입 차이를 위의 〈표 4-10〉에서 나타내 준다. 매칭후의 로그수입은 비BRT구간 노선보다 BRT구간 노선이 근거리이웃 매칭에서는 0.08(8%) 증가하였으며, 커널 매칭방법에서는 0.09(9%) 증가하였다.

V. 결론

부산의 각 BRT구간마다 운행하는 시내버스의 운행거리를 측정하여 합산하고 노선별 BRT구간 운행비율을 산출하였다. 이러한 자료를 토대로 2015년부터 2019년까지의 전혀 BRT구간을 운행하지 않는 버스노선은 71개로 확정하고, BRT구간의 영향을 받게 되는 버스 노선은 해당 노선의 운행거리 대비 BRT구간 운행하는 비율이 10% 이상인 노선만을 추출하여 이들 노선을 실험집단으로 설정하였다. 이 노선은 12개이며, 구체적으로 31, 115-1, 43, 506, 141번 5개는 2017. 1월부터 BRT시작은, 1010, 20, 10, 87, 86, 110-1, 99번 7개 노선은 2019. 5월부터 BRT 구간 시행하고 있었다. 따라서

시계열분석하는 과정에 이들 실험집단은 순수하게 BRT구간을 운행한 단위는 연도별 22개 노선이 된다. PSM은 2015년-2019년 기간 동안 매칭 된 BRT 22개, 비BRT 27개이다.

PSM 분석을 통한 3년 동안의 이용객수의 차이는 비BRT구간 노선보다 BRT구간 노선이 1:1근거리 이웃 매칭에서는 73,600명이 증가하였으며, 커널 매칭방법에서는 73,300명이 증가하였다. 로그수입에서는 PSM 근거리 이웃매칭의 경우 2017년부터 2019년 3개년 동안 0.09(9%)가 증가하였고, 커널매칭에서도 같은 0.09(9%)가 증가하였다.

부산의 분석결과를 종합하여 정리하면 다음 <표 5-1>과 같다.

<표 5-1> 분석결과에 따른 효과 정리

| 구 분 | | 분석방법에 따른 결과 | |
|---------------------|----------|-------------|-----------|
| 분석방법 | | PSM | |
| 집단구분 | | 실험집단 노선 수 | 통제집단 노선 수 |
| 모집단 | | 12 | 71 |
| 5개년 연도별 분석 노선 합계 | | 22 | 393 |
| 매칭 노선수 | | 22 | 27 |
| 이용객수 | PSM(근거리) | 73,600명 증가 | |
| | PSM(커널) | 73,300명 증가 | |
| 로그수입 | PSM(근거리) | 0.09(9%) 증가 | |
| | PSM(커널) | 0.09(9%) 증가 | |

부산은 도심의 구조 상 남쪽으로 바다가 가로 막혀 있고, 북쪽은 산악지형이 병풍처럼 드리워져 있어 도심의 확장성이 수도권과 충청권보다 약하다. 또한 울산, 진해, 양산 등 위성도시와의 유기적인 도시기능의 역할배분이 약하여 BRT구간 효과가 다소 떨어질 수 있다.

준공영제 시내버스의 정책 효과성 및 효율성을 제고하기 위해서는 최우선 과제로서 재정적자의 폭을 줄여야 하며 동시에 시내버스에 대한 대중교통의 공공성을 강화해야

한다. 이를 위해 시행청인 지방자치단체에서는 다음과 같은 제도적 개혁을 추진하여야 한다.

첫째, 협력적 광역교통 거버넌스의 기능을 강화하여야 한다. 교통서비스 공급자 및 수요자(국가, 지방자치단체, 민간)가 광역교통 문제 해소에 적극 참여할 수 있도록 협력과 조정형 거버넌스 체계를 구축하여야 한다. 대도시권 광역교통위원회 산하 광역교통 갈등관리위원회를 통해 광역교통 실태조사, 빅데이터 분석 등을 주기적으로 실시하여 중복 노선체계의 개선, 비효율적인 노선의 체적화를 이룩해야 한다. 이로써 이용객의 증기를 꺾고, 버스 한 대당 승객 통행량을 높이는 데 주력을 하여야 한다.

BRT구간을 광역교통망으로 구축하여야 한다. 서울은 위성도시인 성남, 고양, 의정부, 과천과 연계된 BRT구간을 운영하고 있다. 대전은 세종시와 연계하여 대전역-오송역과 같이 광역교통망을 구축하였다. 그러나 부산은 그렇지 않아 울산과 김해, 진해, 양산을 연결하는 광역교통망 구축을 서둘러야 한다.

이와 더불어 시내버스의 노선이 일부나마 이들 위성도시와의 연계가 원활히 이루어질 수 있도록 도시 간의 협력체제로 노선의 도시 간 연계하여 확충을 꾀할 수 있어야 한다. 터미널과 터미널로 논스톱 운행하는 시외버스와 달리, 시내버스의 도시 간 연결은 시민의 생활권이 도시의 경계를 허물고 도시 간 필요에 따라 시민들에게 업무 및 소비활동을 수월하게 해 줄 수 있어야 한다. 이렇게 시내버스의 도시 간 경계를 허물고 노선의 연장을 검토한다면, 보다 더 나은 시민의 이동권에 대한 접근성 수준을 높여줄 수 있다.

둘째, 빠르고 편리한 연계·환승시스템을 구축하기 위해 지속적으로 모니터링 하여야 한다. 이를 위해 환승센터를 중심으로 공유 모빌리티 인프라를 확충하고, 접근성 개선 계획도 병행하여야 한다. 부산시의 경우 지하철이 동해남부선이 연장되면서 BRT구간의 개통 그리고 무료환승제의 실시 등으로 환승이 원활하게 이루어지도록 지하철역과 승강장의 연계, 환승노선의 변경 등을 시도하였다. 이 환승시스템의 구축은 고정되어서는 안 되고, 승객의 유동성 변화에 따라 환승시스템이 바뀌어져야 한다. 도심의 발달과 상권의 이동, 계절의 변화와 주변도시의 인구이동 추이에 따라 환승객 수요가 달라질 수 있다. 그러므로 주기적으로 시내버스의 승객동향을 모니터링하여 이를 바탕으로 환승센터의 변경을 추진하여야 한다.

참 고 문 헌

- 김성은(2019). BRT 운영에 따른 시민의식 분석과 개선방안에 대한 고찰. 부산대학교 대학원 석사
- 김종진(2012). 부산광역시 도시철도 계획노선의 간선급행버스체계 대체 타당성에 관한 연구. 경성대학교 석사학위논문. 1-135
- 김주인(2007). 버스운영의 준공영제 도입 효과에 관한 연구 -서울 대중교통개편 사례를 중심으로-. 서울시립대학교 도시과학대학원 행정학과 석사학위논문.
- 김희영(2001). 도시 공공서비스 시설의 공급 결정요인. 이화여자대학교 대학원, 석사학위 논문.
- 나금환(2011). 친환경 녹색교통정책집행에 미치는 영향요인에 관한 연구: 수도권 BRT 시범사업을 중심으로. 인천대학교 대학원 행정학박사논문.
- 박수영(1993). 도시공공서비스 이론에 관한 연구. 경희법학, 28(1) 239-259.
- 안현진(2010). 시내버스 준공영제를 통한 운송관리 효율화 방안 연구. 인천대 석사학위 논문.
- 이종수(2010.). 탈신공공관리(Post-NPM) 개혁전략의 모색. 한국사회와 행정연구. 21(1),
- 이훈기·김종학(2005). 교통수요관리시책의 통합시행에 따른 통행행태변화 및 대기오염 개선효과. 대한국토·도시계획학회, 40(4), 175-185.
- 박준환 (2009). 버스준공영제 시행에 따른 지방자치단체의 재정 부담과 과제. 국회입법 조사처,
- 서민지(2012). 근로장려세제가 근로빈곤층의 소득과 노동공급에 미치는 영향 분석. 성균관대학교 대학원 석사학위논문,
- 은철규(2009). BRT시스템을 考慮한 都市幹線道路 橫斷面 設計 改善方案 研究. 서울시立 大學校 大學院 박사논문.
- 이원규 외(2006). 부산 버스준공영제 시행방안 연구. 「부산발전연구원」.
- 이성복(2000). 「도시행정론」. 법문사.
- 진선미 외(2011). 사회서비스 지속성이 기혼여성의 경제활동 참여 및 참여 상태에 미치는 영향에 관한 중단연구: 혼합다항로지스틱 회귀모형의 활용. 보건사회연구, 31(3) 38-69
- 최슬기(2020). 국민의료보장에서 민간의료보험의 역할과 관리실태 분석. 감사원 감사연구원. 12.
- 한중학(2011). 준공영제 시행이후 인천광역시내버스 노선효율성 분석. 교통기술과 정책,

8(3), 16.

허명희(2014). 「응용데이터분석 Applied Data Analysis Using R」. 자유아카데미.

국토교통부 (accessed 01 ~ 31 August, 2020. From <http://www.molit.go.kr/USR/>

부산시청 (accessed 01 ~ 31 August, 2019. from

<http://www.busan.go.kr/forest/hoboardnews/1386038>)

Abadie, A., D. Drukker., J.L. Herr, & G.W. Imbens(2004), Implementing matching estimators for average treatment effects in Stata, *The Stata Journal*, 4(3), 290-311.

Austin, P. C. (2010). The performance of different propensity-score methods for estimating differences in proportions (risk differences or absolute risk reductions) in observational studies. *Statistics in medicine*, 29(20), 2137-2148.

Becker, S. O. & A. Ichino(2002), Estimation of average treatment effects based on propensity scores, *The Stata Journal*, 2(4), 1-19

BOGNETTI, G, OBERMANN, G, (2012). LOCAL PUBLIC SERVICES IN EUROPEAN COUNTRIES: MAIN RESULTS OF A RESEARCH PROJECT BY CIRIEC INTERNATIONAL. *Blackwell Publishing Ltd, Annals of Public and Cooperative Economics*, 83(4), 1-21

Brookhart, M. A., Schneeweiss, S., Rothman, K. J., (2006), Variable selection for propensity score models. *American journal of epidemiology*, 163(12), 1149-1156.

Caliendo M, and S. Kopeining. (2008). Some Practical Guidance for the Implementation of Propensity Score Matching. *Journal of Economics Surveys*, 22(1), 31-72.

Carolyn J Heinrich, Elizabeth Fournier.(2004) “Dimensions of publicness and performance in substance abuse treatment organizations,” *Journal of Policy Analysis and Management*, 23(1) 61-62

Dassiou, X., Langham, P., Nancarrow, C., Scharaschkin, A. and Ward, D. (2015). Public service markets: Their economics, institutional oversight and regulation. Palgrave Communications. Nov. 2015. pp. 1-13. Retrieved from <https://www.nature.com/palcomms/>

Dawid, A. P. (1979), “Conditional independence in statistical theory,” *Journal of the Royal Statistical Society*, 41(3), 278-282.

- Royal Statistical Society. Series B(Methodological), 41(1), 1–31.
- Garen, J. (1984). The returns to schooling: A selectivity bias approach with a continuous choice variable. *Journal of the Econometric Society*, 52(5), 1199–1218.
- Glazerman, S., Levy, D. M., & Myers, D. (2003). Nonexperimental versus experimental estimates of earnings impacts. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 589(1), 63–93.
- Heckman, J., Ichimura, H., Smith, J., & Todd, P. (1998). Characterizing selection bias using experimental data. *Econometrica*, 66(5), 1017–1098.
- Heckman, J. J., Ichimura, H., & Todd, P. E. (1997), “Matching as an econometrics evaluation estimator: Evidence from evaluating a job training programme,” *The review of economic studies*, 64(4), 605–654
- Hirano, K., & Imbens, G. W. (2001). Estimation of causal effects using propensity score weighting: An application to data on right heart catheterization. *Health Services and Outcomes research methodology*, 2(3–4), 259–278.
- Levinson, H.S. (2007). Bus Rapid Transit Practitioner's Guide. Transportation Research Board of National Academies, Chapter 4–Component Features, Costs, and Impacts, 61–243. (accessed 10 ~ 31 April. 2021. from <https://www.nap.edu/read/23172/chapter/6>)
- Imbens, Guido, and Karthik Kalyanaraman(2011). Optimal bandwidth choice for the regression discontinuity estimator. *The Review of Economic Studies*, 1–27
- K Watkins, S Berrebi, C Diffie, B Kiriazes, D Ederer. (2020). Analysis of Recent Public Transit Ridership Trends. *THE NATIONAL ACADEMIES PRESS*. 108.
- Rubin, D. B. (2001). Using propensity scores to help design observational studies: application to the tobacco litigation. *Health Services and Outcomes Research Methodology*, 2(3–4), 169–188.
- Rubin, D. B. (1974). Estimating causal effects of treatments in randomized and nonrandomized studies. *Journal of educational Psychology*, 66(5), 688.
- Rubin, D. B. (1978). Bayesian inference for causal effects: The role of randomization. *The Annals of statistics*, 6(1), 34–58
- Rubin, D. B., & Thomas, N. (1992). Characterizing the effect of matching using linear
- 79 Vol.64 No.3 *Studies in Humanities and Social Sciences*.

- propensity score methods with normal distributions. *Biometrika*, 79(4), 797-809.
- Rosenbaum, P. R., & Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41-55.
- Todd, Albert May(1918). Constitution of the Public ownership league of America. Chicago, Ill., Public ownership league of America Chicago, Illinois, 119-122.
- Tucker, J. W. (2010), Selection bias and econometric remedies in accounting and finance research. *Journal of Accounting Literature*, 29, 31-57.
- Wallsten, S. J. (2000), The effects of government-industry R&D programs on private R&D: the case of the Small Business Innovation Research program. *The RAND Journal of Economics*, 31(1), 82-100.
- Zatti, A. (2012). NEW ORGANIZATIONAL MODELS IN EUROPEAN LOCAL PUBLIC TRANSPORT: FROM MYTH TO REALITY. *Blackwell Publishing Ltd*, 83(4). 533-559