

PEST-SWOT-FUZZY-AHP를 활용한 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력 제고전략*

엄익천* · 조주연** · 조현정*** · 도계훈****

I. 서론

우리나라 소재부품산업의 기술력은 주요 선진국 수준에 점차 근접¹⁾함에 따라 부품산업과 1차 소재산업에서 긍정적 성과들이 나타나고 있다. 하지만 고부가가치 소재 분야는 여전히 취약하며 특히 소재 분야의 대일 무역 적자규모가 2000년 47억불에서 2012년 119억불로 매년 증가하는 추세이다(한국경제연구원, 2013: 2). 이로 인해 ‘가마우지 경제(cormorant economy)’ 현상²⁾이 고착화되고 있다. 이는 원천기술의 부족에 의한 생산기술의 취약성에 기인한다(이홍배, 2009). 따라서 한국의 과학기술경쟁력을 제고하려면 대일 소재 분야의 기술경쟁력 확보가 매우 중요하다고 볼 수 있다.

그동안 소재 분야와 관련하여 다양한 연구들이 진행되었다. 이를테면 자료포락분석(Data Envelopment Analysis: DEA)을 활용한 소재부품산업의 효율성 분석(오지환·정기호, 2012; 이광배·김창범, 2013), 소재부품산업의 국제경쟁력 비교·분석과 제고 방안 제시(이재걸·이성호, 2005; 김지용, 2008; 장선마·유미화, 2010), 소재 분야 국가연구개발사업의 개선방향 모색(이일환·정상기, 2008; 조성호 외, 2012), 국제산업연관표를 활용한 소재부품 분야의 무역불균형 원인분석(이홍배, 2009) 등을 들 수 있다. 하지만 기존 선행연구들은 주로 소재부품 산업의 효율성 분석과 국제 산업경쟁력의 비교·분석에 치중함에 따라 대일 소재 분야의 과학기술경쟁력에 대한 제고전략을 체계적으로 제시한 연구는 거의 찾아볼 수가 없다. 특히 그동안 정부에서 발표된 소재 관련 중장기 계획³⁾과 해당 실천과제들은 주로 동료평가(peer review) 방식에 의존해서 대응전략을 수립한다. 이는 고도의 전문성과 복잡성, 불확실성⁴⁾ 등이 수반되는 과학기술의 특성에 기인한다. 하지만 동료평가 방식은 정성적인 접근법이므로 도출된 대응전략의 우선순위를 명확하게 제시할 수 없다. 따라서 다양한 경험

* 엄익천, 한국과학기술기획평가원 부연구위원

** 조주연, 충북대학교 사회과학연구소 전임연구원

*** 조현정, 한국과학기술기획평가원 연구위원

**** 도계훈, 한국과학기술기획평가원 연구위원

※ 본 연구는 미래창조과학부의 과학기술종합조정지원사업에서 지원을 받아 수행한 「일본 대응 과학기술 전략에 대한 연구-소재 분야를 중심으로-」의 일부를 수정·보완하였음을 밝힌다.

1) 한국 소재·부품산업의 종합경쟁력은 미국을 100으로 놓고 볼 때 2001년 미국 대비 74.2%에서 2009년 93.6%로 조사되었다(한국산업기술진흥원, 2011: 55).

2) 1980년대 말 일본 경제평론가 고무로 나오키(小室直樹)가 「한국의 붕괴」라는 책에서 처음 사용하였다. 중국이나 일본 일부 지방에서 낚시꾼이 가마우지 새의 목 아래를 끈으로 묶어두었다가 새가 먹이를 잡으면 끈을 당겨 먹이를 삼키지 못하도록 하여 목에 걸린 고기를 가로채는 낚시방법이 있다. 이에 빗대어 핵심 소재부품을 일본에서 수입해 다른 나라에 수출하는 한국 산업경제의 구조적 특성 상 수출하면 할수록 정작 이득은 일본에게 돌아간다는 의미다.

3) 「2차 소재·부품 발전기본계획(’09.2)」과 「소재·부품산업 미래비전 2020(’11.10)」 등을 비롯해서 2013년 11월에는 「제3차 소재·부품발전기본계획(’13~’16년)」이 발표되었다.

4) 과학기술의 불확실성은 신약개발 분야가 가장 대표적이다. 신약개발은 약 10,000개의 후보물질 중 최종적으로 승인되어 시장에 시판되는 물질이 확률적으로 1개에 불과한 걸로 알려져 있다(조선일보, 2013년 7월 5일자, 사회 12면)

과 지식을 갖춘 소재 분야 전문가들의 복합적인 다기준 의사결정들을 체계적으로 모아내서 객관적인 소재 분야의 과학기술경쟁력에 대한 제고전략을 모색할 필요가 있다.

본 연구에서는 PEST-SWOT-FUZZY-AHP 방법론(엄익찬·조주연, 2014)을 활용해서 일본에 대응하는 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력에 대한 제고전략을 제시하고 주요 시사점을 모색하였다. 이를 위해 소재 분야의 이론적 논의와 PEST-SWOT-FUZZY-AHP 방법론을 설명하였다. 그런 후 동 방법론에 따른 소재 분야의 PEST-SWOT 요인별 상대적 중요도의 분석결과를 제시하고, 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력의 제고 전략을 논의하였다. 마지막으로 본 연구의 한계점과 향후 연구주제를 제시하였다.

II. 이론적 논의와 분석방법

1. 소재의 개념정의와 주요 특징

소재는 부품(중간재) 또는 완제품(최종재)이 가져야 할 물질적 특성을 좌우하는 핵심 기초 물질이다. 통상 소재는 자연 상태의 물질에 상당한 인위적 가공을 가하여 원하는 물성을 획득한 물질을 일컫는다. 소재는 <표 1>에서 보듯 금속과 세라믹, 고분자로 구분되며 최근 산업의 융·복합화를 반영하여 융합소재의 분류가 새롭게 등장하고 있다. 또한 소재는 1차 소재와 2차 소재로 구분하기도 한다. 1차 소재는 자연 상태에서 얻어지는 원료를 바탕으로 생산되는 범용 소재를 말하며 2차 소재는 부품모듈과 완제품이 요구하는 용도와 물성에 맞게 설계된 소재를 뜻한다.

신소재의 개발과 생산에는 장기간의 안정적인 연구개발투자와 제조 노하우 등이 뒷받침되어야 한다. 특히 소재의 품질은 소재 생산의 공정 노하우와 경험을 체화한 숙련공의 능력에 따라 좌우되므로 단기간에 핵심기술 확보할 수 없는 특징이 있다. 설사 신소재가 개발되더라도 아직 시장이 열리지 않으면 아무런 가치를 인정받지 못하기도 한다. 하지만 시장에서 중요한 소재로 활용되기 시작하면 독과점 구조를 형성하게 된다.⁵⁾ ‘잃어버린 20년’이라는 장기불황을 겪는 일본의 경제 원동력이 바로 소재부품 분야의 독보적인 원천기술력 덕분이다(구본관, 2009). 일본은 편광판 보호필름, 실리콘 웨이퍼, 광학렌즈 등의 주요 소재부품에서 세계시장 점유율이 40%~100%를 차지하고 있다.

<표 1> 소재의 분류

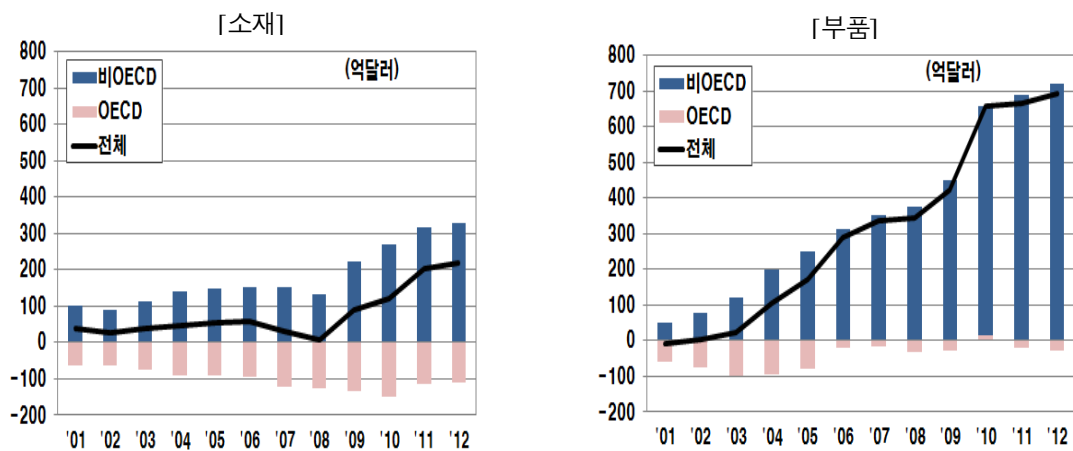
구분	개념정의와 범위
금속 소재(금속)	일반 철·비철금속 소재, 나노 금속 소재, 금속 소재 제조를 위한 공정 등
세라믹 소재(세라믹)	일반 세라믹 소재, 무기물 반도체 소재, 나노 세라믹 소재, 세라믹 소재 제조를 위한 공정 등
고분자 소재(고분자)	일반 고분자 소재, 나노 스케일의 고분자 소재, OLED 등 유기 소재, 유기물 반도체 소재, 고분자 소재 제조를 위한 공정 등
융합·신소재(융합)	hybrid 소재(유·무기 복합소재), 탄소 소재(graphene, CNT, 탄소섬유 등), 기타 섬유, 따로 분류가 어려운 나노 소재 및 공정 등

5) 일본 도레이(Toray)사는 탄소섬유의 개발을 위해 약 13년 간 집요한 연구개발투자를 지속하여 1961년 상용화에 성공하였다. 하지만 탄소섬유 시장은 2000년대 이후부터 본격적으로 열리기 시작하였다. 이러한 탄소섬유는 내열화로(300℃), 탄화로(2000℃), 흑연화로(3000℃)에 아크릴 섬유를 통과시켜 만드는데, 이때 각 화로의 배치, 투입원료의 양, 투입 방법, 온도조정 타이밍 등의 다양한 조건이 모두 제조 노하우로 잘 들어맞아야 우수한 품질의 탄소섬유가 생산된다.

2. 소재 분야의 무역현황

미국, 일본 등의 주요 선진국은 이미 1980년에 완제품형 산업구조에서 핵심 소재부품 중심의 산업구조로 전화해왔다(정상기 외, 2008: 11). 이와 달리 우리나라에서는 아직 소재부품산업에서 후발국가에 속한다. 하지만 최근 소재부품산업의 경쟁력이 점차 개선되는 추세이다. 2001년부터 2012년까지 한국의 무역수지 추세를 살펴보면 2012년 전체 산업의 무역수지가 286억불 흑자일 때 소재부품 흑자는 910억불을 기록하며 최근 5년(2008년~2012년) 동안 약 2.6배에 달하는 높은 증가율을 보였다. 특히 2008년 글로벌 경제위기 당시 전 산업이 IMF사태 이후 최악인 133억불 무역수지 적자를 기록할 때, 소재부품은 전년대비 소폭(4.5%) 감소한 348억불의 무역흑자를 기록하며 한국 경제의 버팀목 역할을 수행하였다.

그러나 소재부품 무역수지를 OECD 가입국과 비OECD가입국으로 구분해보면 우리나라는 [그림 1]에서 보듯 對OECD 국가 대상으로 발생한 무역수지 적자를 비OECD 국가와의 무역수지 흑자로 상쇄하고 있다. 이는 신흥국을 대상으로 중급의 소재부품을 수출하여 수익을 내기 위해, 첨단 소재부품을 OECD 선진국으로부터 수입하는 구조 때문으로 추정된다. 특히 對OECD 무역수지 적자는 소재 분야에서 두드러지게 나타나고 있으며, 부품 분야의 對OECD 국가 무역수지 적자는 상당히 개선된 상황이다. 또한 소재 중 첨단기술(high-tech) 소재의 수출입 현황을 무역특화지수로 살펴보면 우리나라는 ‘-’값을 가지면서 점차 악화되나 미국, 일본 등의 주요국은 ‘+’값을 가지고 점차 향상되거나 유지되고 있다. 아울러 총 소재 수출 중 첨단기술 소재가 차지하는 비중도 우리나라는 6~8% 수준으로 10~20%를 넘나드는 주요 선진국보다 매우 낮은 실정이다(현대경제연구원, 2013).



자료 : 한국산업기술진흥원, 소재·부품통계·종합정보망(mctnet)

[그림 1] OECD국가 對 비OECD국가 간의 무역수지 비교

3. 소재 분야 국가연구개발사업의 투자현황

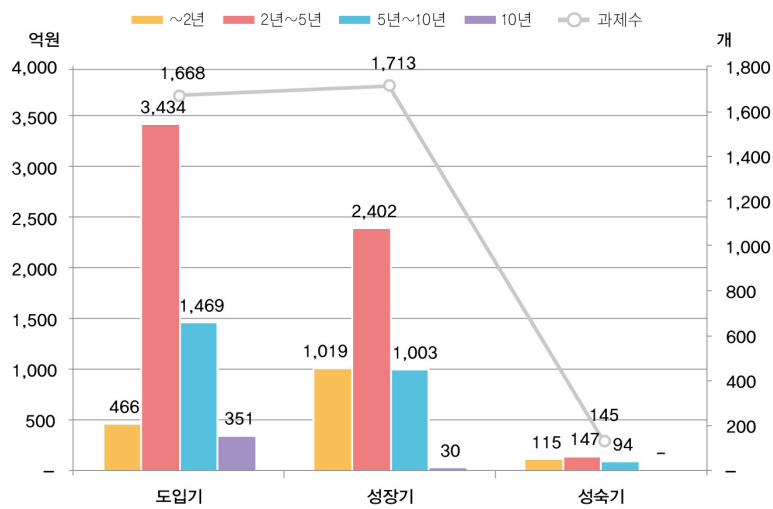
소재 기술은 앞서 지적했듯 장기간의 연구개발투자가 필요하므로 정부의 적극적인 기술개발 지원이 매우 중요하다. 2012년도 소재 분야의 국가연구개발사업 세부과제에 대한 투자현황을 파악한 결과, 금속소재와

6) 섬유제품, 화학제품, 고무·플라스틱, 비금속광물, 제1차금속으로 분류되는 소재산업 품목 중 하이테크 화학제품 40개 품목(화학제품)과 하이테크 고무·플라스틱 24개 품목(고무·플라스틱) 제품만 첨단 소재로 분류된다.

7) 2014년 1월 6일~1월 31일까지 약 한달 간 소재 기술의 세부분야별 전문가 8명을 섭외해서 3회 걸친 자문 회의를 진행하였다. 이를 통해 국가과학기술표준분류의 총 189개 중분류 중 소재 연구와 밀접하게 연관된

세라믹 소재, 고분자 소재, 융합신소재 중 융합신소재 분야의 비중이 전체 소재 분야의 59.9%를 차지하였다. 소재 분야의 국가연구개발사업 세부과제에 대한 연구개발단계별 투자분포를 살펴보면 개발연구가 50%로 가장 높았으며 기초연구(33%), 응용연구(17%) 순이었다.

또한 신소재 개발에는 장기간의 연구가 필요함에도 평균 연구기간이 3.1년에 불과하였으며, [그림 2]에서 보듯 기술수명주기 중 도입기 단계에서 2~5년의 중기 과제가 더 많은 반면, 10년 이상 지속되는 장기 연구과제는 거의 없었다. 즉, 국내 소재 기술개발은 원천기술의 개발에 주력하기보다 당장 산업 수요에 부합하는 응용개발 기술에 집중하고 있음을 파악할 수 있다. 따라서 중저급 소재부품에 대한 중국의 기술추격이 더욱 더 가속화되는 상황이므로 첨단 신소재 개발과 원천기술 확보를 위한 대응전략 마련은 매우 중요하다고 볼 수 있다.



[그림 2] 기술수명주기별 과제기간 분포

4. 분석방법⁸⁾

PEST-SWOT-FUZZY-AHP는 고도의 전문성과 복잡성이 수반되는 과학기술 분야의 특성을 반영한 다기준 의사결정의 전략 수립 방법론이다(엄익찬·조주연, 2014). 이 방법론을 활용하면 의사결정자의 응답에 대한 태도와 신뢰도를 체계적으로 고려할 수 있다. PEST-SWOT-FUZZY-AHP를 활용하려면 먼저 PEST-SWOT 분석을 실시하여야 한다. PEST-SWOT분석에서는 가능한 객관적인 자료와 전문가의 정성적 의견을 종합해서 PEST-SWOT 요인들을 도출하는 작업이 매우 중요하다. 둘째, 도출된 PEST-SWOT 모형을 토대로 계층화분석(AHP)⁹⁾을 위한 전문가 설문지를 작성해서 소재 분야의 전문가들을 대상으로 전문가 설문조사를 실시한다. 이때 PEST-SWOT-FUZZY-AHP 방법론은 Zadeh(1965)의 퍼지집합이론(fuzzy sets theory)을 응용해서 응답의 신뢰도를 함께 고려하므로 계층화분석의 전문가 설문지는 설문문항별로 [그림 3]처럼 구성한다. 이를 통해 PEST-SWOT 요인들의 상대적 중요도와 응답의 신뢰도를 측정한다. 본 연구에서는 총 20명의 소재 분야 전문가를 대상으로 AHP 전문가 설문조사를 실시하였으며 19부의 설문지 회수(회수율 95%)되었다. 하지만 일

40개 중분류(물리, 화학 등 12개 대분류 포함)를 선별하고, 이들 중분류에 포함된 10,147개 세부과제를 검토해서 5,141개 과제를 소재 분야의 국가연구개발사업 세부과제로 선별하였다.

8) 엄익찬·조주연(2014)을 인용하여 요약·정리하였다.

9) 계층화분석의 자세한 내용은 조근태·조용곤·강현수(2003)를 참조하기 바란다.

관성이 부족한 1명을 제외하고 최종 18명을 대상으로 분석하였다.

○ 응답의 상대적 중요도(Weight)
= {동일하게 중요, 중간 정도, 약간 중요, 중간 정도, 중요, 중간 정도, 매우 중요, 중간 정도, 절대 중요}
○ 응답의 신뢰도(Confidence)
= {매우 불확실하다, 불확실하다, 보통이다, 확실하다, 매우 확실하다}

[그림 3] AHP 설문응답의 신뢰도 반영방법(예시)

셋째, AHP 전문가 설문조사를 통해 도출된 상대적 중요도와 각 중요도에 대한 응답의 신뢰도를 퍼지수(fuzzy number)로 전환해서 퍼지 응답행렬을 구축한다. 퍼지수는 삼각퍼지수나 사다리꼴 퍼지수 등 다양한 형태가 존재하나, 가장 널리 활용되고 있는 삼각퍼지수를 활용하였다.¹⁰⁾ 삼각퍼지수는 [그림 3]에서 보듯 AHP 설문문항의 상대적 중요도와 신뢰도에 대응하도록 Cheng and Mon(1994)과 Moon and Kang(1999)을 참조해서 <표 2>처럼 설정하였다. 즉, AHP 설문문항의 상대적 중요도에 대응하는 삼각퍼지수가 $W(a, b, c)$ 이고 해당 설문문항의 응답에 대한 신뢰도를 나타내는 삼각퍼지수가 $C(A, B, C)$ 일 경우 최종 삼각퍼지수는 $(a \times A, b \times B, c \times C)$ 가 된다(Dubois and Prade, 1978).

<표 2> AHP 설문문항의 상대적 중요도와 응답 신뢰도에 대응하는 삼각퍼지수

언어적 표현	삼각퍼지수	응답의 신뢰도	삼각퍼지수
동일하게 중요	(1, 1, 2)	매우 불확실하다	(0.00, 0.00, 0.25)
중간정도	(1, 2, 3)		
약간 중요	(2, 3, 4)	불확실하다	(0.00, 0.25, 0.50)
중간정도	(3, 4, 5)		
매우 중요	(4, 5, 6)	보통이다	(0.25, 0.50, 0.75)
중간정도	(5, 6, 7)		
확실히 중요	(6, 7, 8)	확실하다	(0.50, 0.75, 1.00)
중간정도	(7, 8, 9)		
절대중요	(8, 9, 9)	매우 확실하다	(0.75, 1.00, 1.00)

이렇게 계산된 AHP 설문응답의 삼각퍼지수들을 합산하는 방법에는 최소값과 최대값, 평균값 등이 있는데 널리 활용되는 평균값을 사용한다(Buckley, 1985).¹¹⁾ 이후 최종 AHP 가중치를 도출하고자 비퍼지수로 전환한다. 비퍼지수로 변환하는 방법에도 여러 방법이 존재하는데(Liou and Wang, 1992; Chang, 1996; Opricovic and Tzeng, 2003), 계산이 가장 간편하며 전문가의 응답 태도도 반영할 수 있는 Liou and Wang(1992)의 방법을 활용한다.¹²⁾ 이렇게 비퍼지수로 전환된 실수 값을 토대로 최종 AHP 가중치를 계산한다.

10) 퍼지집합이론의 간략한 특징과 설명은 이해춘·이규용·이인재(2007: 70~72)를 참조하기 바란다.

11) 여기서 평균값은 AHP에 활용되므로 기하평균을 의미하며 삼각퍼지 함수의 각 옆을 기하평균하면 된다(Buckley, 1985).

12) Liou and Wang(1992)은 적분을 활용하는 방법론으로 삼각퍼지나 사각퍼지 등의 모든 형태에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 삼각퍼지를 가정할 때의 계산방법은 다음과 같다(Liou and Wang, 1992; 252).

$$\text{삼각퍼지수 } W(a, b, c) \text{의 비퍼지수} = \frac{1}{2}[\alpha \times c + b + (1 - \alpha) \times a]$$

마지막으로 <표 3>에서 보듯 PEST-SWOT 요인들의 상대적 가중치에 따른 전략을 도출한다. 즉, 강점요인 중 가장 우선순위가 높은 요인과 기회요인 중 가장 우선순위가 높은 요인을 고려한 SO(Strengths and Opportunities) 전략을 도출하고, 강점요인 중 가장 우선순위가 높은 요인과 위협요인 중 가장 우선순위가 높은 요인을 고려한 ST(Strengths and Threats) 전략을 도출한다. 또한 약점요인 중 가장 우선순위가 높은 요인과 기회요인 중 가장 우선순위가 높은 요인을 고려한 WO(Weaknesses and Opportunities) 전략을 도출하고, 약점요인 중 가장 우선순위가 높은 요인과 위협요인 중 가장 우선순위가 높은 요인을 고려한 WT(Weaknesses and Threats) 전략을 수립한다(Wehrich, 1982). 그런 후 각 우선순위가 높은 요인별 가중치를 합산하고 정규화(normalization)해서 각 대응전략별 상대적인 우선순위를 제시한다.

<표 3> PEST-SWOT-FUZZY-AHP 요인별 전략 수립 방법

구분	강점 요인	약점 요인
기회 요인	SO(Strengths and Opportunities) 전략	WO(Weaknesses and Opportunities) 전략
위협 요인	ST(Strengths and Threats) 전략	WT(Weaknesses and Threats) 전략

자료: Wehrich(1982).

III. 소재 분야의 과학기술경쟁력 제고전략

1. PEST-SWOT 요인에 따른 계층분석구조

본 연구에서는 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력에 대한 제고전략을 수립하고자 기존 선행연구들을 검토하여 <표 4>와 같은 1차 PEST-SWOT 요인(안)을 도출하였다. <표 4>을 살펴보면 정치적 관점(P)의 약점 요인과 기술적 관점(T)의 기회 요인이 비어 있음을 파악할 수 있다. 이처럼 SWOT 분석에 PEST 모형을 접목하면 미처 고려하지 못한 SWOT 요인들을 발견해낼 수 있는 장점이 있다.

<표 4> 대일 한국 소재 분야의 PEST-SWOT 요인(안)

구분	강점	약점	기회	위협
정치적 관점 (P)	-핵심 소재부품 경쟁력 확보를 위한 정부의 강력한 정책 추진의지		-한미, 한EU FTA 체결에 따른 관세장벽 완화 -정부의 중소기업 중심 경제민주화, 일자리 중심 창조경제 정책 추진	-미국, 영국 등 선진국의 자국 제조업 육성 정책 추진
경제적 관점 (E)	-글로벌 시장에서 경쟁 가능한 가격 경쟁력	-원천 소재 확보를 위한 국가 R&D 사업의 한우물 연구지원 미흡 -정부의 소재부품 예산 증액 부족으로 중소기업 경쟁력 향상을 위한 신규 지원 부족 -소재부품 R&D 투자의 전략성 부족	-스마트폰, 스마트TV 등 한국 주력산업의 성장 -對新중국 투자 확대에 따른 소재부품 수요 증대 -'Korea discount' 인식에 따른 외국인 투자 확대 -친환경·에너지 저감형 제품	-에너지 등 환율변화에 따른 가격경쟁력 약화 우려

상기 식에서 α 는 낙관지수(optimum index)로 일반적으로 활용되는 0.5(중립적)로 가정한다. 이는 설문응답자가 해당 설문문항에 대해 낙관적이지도 않고 비관적이지도 않은 중립적인 상태에서 의사결정이 이루어짐을 의미한다. 이에 대한 자세한 사항은 Liou and Wang(1992)를 참조하기 바란다.

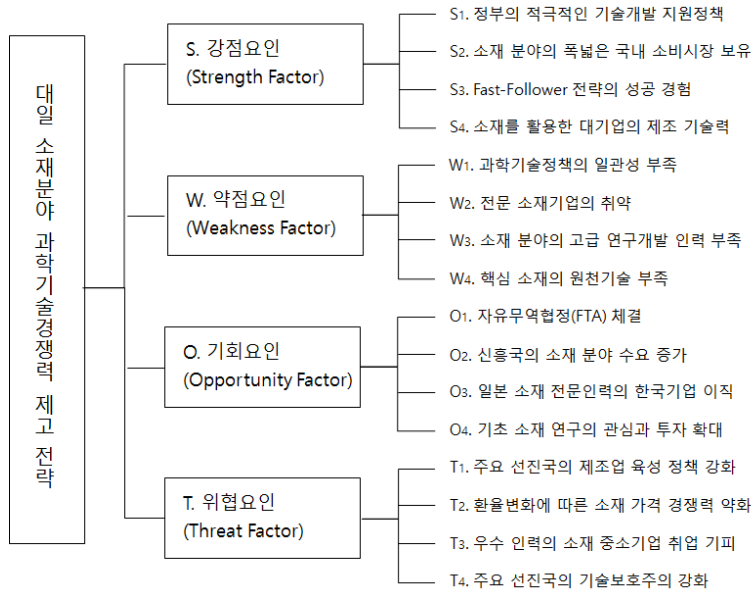
구분	강점	약점	기회	위험
			에 대한 수요 증대	
사회적 관점 (S)	-소재부품산업 발전을 지원 하는 신뢰성 향상, 인력 양성 인프라 보유 -소재부품 분야의 생산기술 인프라 구축 -단기간 내 목표달성을 이 루어 내는 'Fast follower' 전 략의 성공 경험	-구축기반에 대한 활용체계 부족 에 따른 낮은 인프라 활용도 -중소 소재부품기업의 글로벌 시 장 진출 역량 부족 -융복합, 감성 등 신산업 트렌드 에 대응하는 'First mover' 경험 부족 -소재 분야의 석·박사급 고급 연구개발 인력 부족 -한일 간 소재 분야의 과학기술 협력 부족	-중국의 반일 감정 고조 및 일 본제품 불매운동 -일본 원전 방사능 유출에 따른 신뢰도 저하	-탄소배출권 거래제에 따른 생산 활동 위축 가능성 -우수 인력들의 중소 소재 부품기업 취업 기피
기술적 관점 (T)	-대기업 중심으로 확보된 세계 최고 수준의 소재부품 기술력	-소재부품 분야의 핵심 원천기 술 부족 -핵심 소재부품의 대외 의존도 심화 -소재부품 기업의 영세화와 R&D 역량 부족		-일본 등 선진국의 핵심 원천기술 지식재산권 보호 강 화 -3D프린팅 등 영미 선진국 개발기술을 산업계 적극 활용

<표 4>의 대일 한국 소재 분야의 PEST-SWOT 요인(안)을 토대로 2014년 1월 8일~2014년 1월 17일까지 소재 분야의 과학기술 기획 전문가와 일선 산학연 연구자의 2회 자문을 거쳐 <표 5>처럼 최종적으로 대일 한국 소재 분야의 PEST-SWOT 요인들을 도출하였다.

<표 5> 전문가 자문의 의한 최종 소재 분야의 PEST-SWOT 요인

구분	강점	약점	기회	위험
정치적 (Political)	정부의 적극적인 소재 개발 지원정책	과학기술정책의 일관성 부족	자유무역협정 체결	주요 선진국의 제조업 육성 정책 강화
경제적 (Economical)	소재 분야의 폭넓은 국내 소비시장 보유	전문 소재기업의 취약	신흥국의 소재 수요 증가	환율변화에 따른 소재 가격경쟁력 약화
사회문화적 (Sociocultural)	Fast-Follower 전략의 성공 경험	소재 분야의 고급 연구개발 인력 부족	일본 소재 전문인력 한국기업 이직	우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피
기술적 (Technological)	소재를 활용한 대기업의 제조 기술력	핵심 소재의 원천기술 부족	기초 소재 연구의 관심과 투자 확대	주요 선진국의 기술보호주의 강화

<표 5>처럼 변경한 이유를 간략히 설명하면 다음과 같다. 가령 기술적 관점(T)의 약점요인만 살펴보면, '소재부품 분야의 핵심 원천기술 부족'과 '핵심 소재부품의 대외 의존도 심화', '소재부품 기업의 영세화와 R&D 역량 부족'의 3가지 요인이 있는데, 엇비슷한 내용이 지적되어 있다. 따라서 전문가 자문을 통해 '핵심 소재의 원천기술 부족'으로 재정립하였다. 또한 <표 3>에서 정치적 관점(P)의 약점 요인과 기술적 관점(T)의 기회 요인이 없었는데, 전문가 자문을 통해 각각 '과학기술정책의 일관성 부족' 요인과 '기초 소재 연구의 관심과 투자 확대' 요인을 추가하였다. [그림 3]은 최종적으로 도출된 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력 제고를 위한 PEST-SWOT 계층분석구조를 보여준다.



[그림 3] 소재 분야의 대일 대응전략 수립 PEST-SWOT 계층분석구조

2. PEST-SWOT-FUZZY-AHP 분석결과

1) 응답자의 인구·사회학적 특성

PEST-SWOT-FUZZY-AHP 설문 응답자의 인구·사회학적 특성을 살펴보면 먼저 소속별로는 대학교 7명(41.2%), 연구원 10명(55.6%), 재단 1명(5.6%)로 연구원 소속이 더 많았다. 성별로는 남성이 18명 중 17명(94.4%)으로 여성보다 매우 높은 응답률을 보였다. 학력으로는 모두 박사였으며 연령별로는 40대가 12명(66.7%)으로 30대 4명(22.2%)과 50대 1명(5.6%), 60대 이상 1명(5.6%)에 비해 가장 높은 응답률을 보였다. 전공별로는 재료공학이 8명(44.4%)으로 가장 높았으며 경영학과 경제학이 각각 3명(16.7%), 화학과 전기전자, 기계공학, 환경공학이 각각 1명(5.6%)의 응답률을 보였다.

2) PEST-SWOT-FUZZY-AHP의 상대적 가중치

응답의 태도와 신뢰도를 고려한 PEST-SWOT-FUZZY-AHP의 전문가 설문조사 결과, 일관성 비율은 0.00~0.03의 범위로 나타나 모두 권고기준인 0.1 이하를 충족¹³⁾하였으며 <표 6>처럼 SWOT 요인 중 약점요인(0.415)이 1순위로 나타났다. 다음으로 강점요인(0.267), 위협요인(0.176), 기회요인(0.142) 순의 상대적 중요도를 보였다. 또한 SWOT 요인의 각 세부요인별 상대적 우선순위가 1순위들만 살펴보면 강점요인에서는 ‘소재를 활용한 대기업의 제조 기술력(0.465)’, 약점요인에서는 ‘핵심 소재의 원천기술 부족(0.422)’, 기회요인에서는 ‘기초 소재 연구의 관심과 투자 확대(0.524)’, 위협요인에서는 ‘우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피(0.389)’로 나타났다. 또한 <표 6>는 SWOT 요인의 상대적 가중치와 그 하위 PEST-SWOT 세부요인들의 상대적 가중치를 종합한 결과를 보여준다. <표 6>에서 보듯 약점 요인의 ‘핵심 소재의 원천기술 부족(0.184)’이 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력을 제고하는 데 가장 중요한 1순위 요인으로 파악되었다. 다음으로

13) 통상 퍼지 AHP는 계산식의 복잡성을 인해 일관성 비율을 바로 구할 수 없으나, AHP의 일관성 비율이 권고기준을 충족하면 퍼지 AHP 결과도 일관성을 충족한다(Csutora and Buckley, 2001: 191).

강점 요인의 ‘소재를 활용한 대기업의 제조 기술력(0.124)’이 2순위, 약점 요인의 ‘전문 소재기업의 취약(0.108)’이 3순위, 기회요인의 ‘기초 소재 연구의 관심과 투자 확대(0.074)’이 4순위, 위협요인의 ‘우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피(0.073)’이 5순위 등으로 나타났다.

<표 6> 소재 분야 PEST-SWOT-FUZZY-AHP의 상대적 가

구분	가중치	지표(세부요인)	요인 내 가중치	지역 순위	최종 가중치	전역 순위
강점	0.267	정부의 적극적인 소재 개발 지원정책	0.148	4	0.039	11
		소재 분야의 폭넓은 국내 소비시장 보유	0.227	2	0.061	8
		Fast-Follower 전략의 성공 경험	0.160	3	0.043	10
		소재를 활용한 대기업의 제조 기술력	0.465	1	0.124	2
약점	0.415	과학기술정책의 일관성 부족	0.163	3	0.068	6
		전문 소재기업의 취약	0.260	2	0.108	3
		소재 분야의 고급 연구개발 인력 부족	0.135	4	0.056	9
		핵심 소재의 원천기술 부족	0.442	1	0.184	1
기회	0.142	자유무역협정 체결	0.091	4	0.013	16
		신흥국의 소재 수요 증가	0.248	2	0.035	12
		일본 소재 전문인력 한국기업 이직	0.137	3	0.019	14
		기초 소재 연구의 관심과 투자 확대	0.524	1	0.074	4
위협	0.176	주요 선진국의 제조업 육성 정책 강화	0.090	4	0.016	15
		환율변화에 따른 소재 가격경쟁력 약화	0.138	3	0.024	13
		우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피	0.389	1	0.068	5
		주요 선진국의 기술보호주의 강화	0.383	2	0.067	7

한편 Zadeh(1965)의 퍼지집합이론을 활용해서 응답의 신뢰도를 고려한 <표 6>의 분석결과(이하 ‘퍼지 AHP’로 칭함)를 단순 PEST-SWOT-AHP 결과(이하 ‘단순 AHP’로 칭함)와 비교해보면 <표 7>과 같다. <표 7>에서 보듯 상대적 중요도별 우선순위에서 하위권에는 큰 변화가 없었으나, 상위권에는 큰 변화가 초래되었다. 구체적으로 우선순위의 상위권의 경우 1순위는 약점요인의 ‘핵심 소재의 원천기술 부족’으로 동일하였다. 하지만 단순 AHP 분석 결과, 각각 2순위, 3순위였던 ‘전문 소재기업의 취약’, ‘소재를 활용한 대기업의 제조 기술력’ 요인이 퍼지 AHP 분석결과에서는 ‘전문 소재기업의 취약’, 이 당초 3위에서 2위로, ‘소재를 활용한 대기업의 제조 기술력’ 2위에서 3위로 가중치와 우선순위가 변화하였다. 특히 ‘기초 소재 연구의 관심과 투자 확대’ 요인과 ‘우수 인력의 중소 소재기업 취업기피’는 각각 단순 AHP에서 각각 8위, 9위에서 4위, 5위로 가장 크게 상승하였다. 이 분석결과는 최근 소재 분야에서 기초 소재 연구에 대한 관심이 높아지고 관련 연구 개발투자가 확대되는 환경변화 상황을 소재 분야의 전문가들이 중요하게 인식함을 보여준다.¹⁴⁾ 특히 두 방법 간의 전반적인 일관성이 유지되는 지를 분석하고자 스피어만 서열상관분석을 실시한 결과, 상관계수가 0.859(p<0.001)로 매우 높게 나타났다. 즉, 두 방법론 간에 상대적 중요도의 우선순위에 대한 전반적인 일관성은 유지된다고 판단된다. 따라서 단순 AHP보다는 의사결정자의 응답 신뢰도를 반영하는 퍼지 AHP가 현실적인 변화상황에 더욱 부합하므로 한결 정확한 가중치가 도출된다는 점을 파악할 수 있다. 이는 의사결정자가

14) 미래창조과학부에서는 2015년부터 신소재의 핵심 원천기술을 개발하기 위한 창의소재디스커버리사업을 추진할 계획이다. 창의소재디스커버리사업은 소재 분야에서 처음으로 기존 추격형 R&D에서 벗어나 창조형 R&D로 전환을 시도하려는 국가연구개발사업이다. 이 사업에서는 기존 소재의 변형이 아니라 전혀 다른 신소재를 개발해 ‘세계 최초’, ‘세계 최고 소재’를 만드는 데 사업목표가 있으며 2024년까지 정부 연구개발비로 3,066억원을 투입할 예정이다(디지털타임즈, 2014년 10월 5일자 기사 참조).

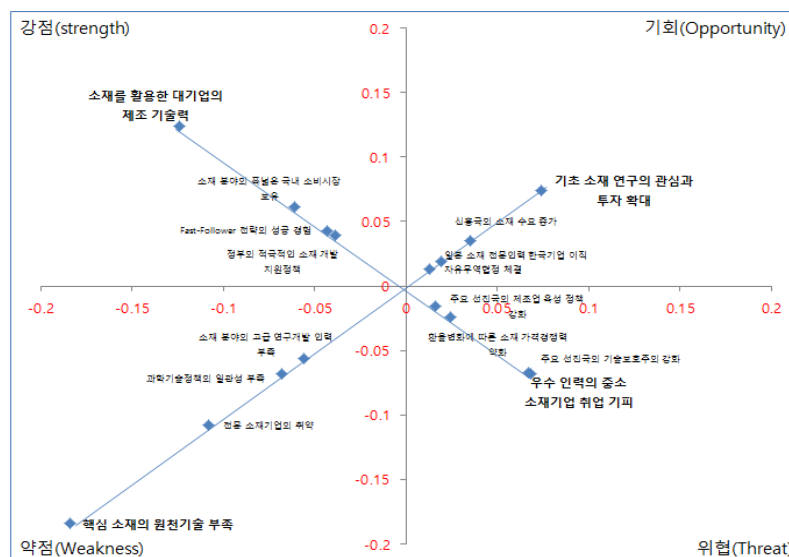
해결할 문제들에 대한 전문성과 이해력이 높을수록 강한 확신성을 보이는 행태에게 기인함으로 판단된다(이해춘이규용이인재, 2007: 87).

<표 7> 소재 분야 PEST-SWOT-AHP분석과 PEST-SWOT-FUZZY-AHP의 상대적 가중치 비교

구분	세부 요인	단순		퍼지		가중치 격차(B-A)
		AHP(A)	순위	AHP(B)	순위	
강점	정부의 적극적인 소재 개발 지원정책	0.057	7	0.039	11	△0.018
	소재 분야의 폭넓은 국내 소비시장 보유	0.085	5	0.061	8	△0.024
	Fast-Follower 전략의 성공 경험	0.046	10	0.043	10	△0.003
	소재를 활용한 대기업의 제조 기술력	0.119	3	0.124	2	0.005
약점	과학기술정책의 일관성 부족	0.091	4	0.068	6	△0.023
	전문 소재기업의 취약	0.136	2	0.108	3	△0.028
	소재 분야의 고급 연구개발 인력 부족	0.059	6	0.056	9	△0.003
	핵심 소재의 원천기술 부족	0.162	1	0.184	1	0.022
기회	자유무역협정 체결	0.018	14	0.013	16	△0.005
	신흥국의 소재 수요 증가	0.036	12	0.035	12	△0.001
	일본 소재 전문인력 한국기업 이직	0.016	16	0.019	14	0.003
	기초 소재 연구의 관심과 투자 확대	0.054	8	0.074	4	0.020
위협	주요 선진국의 제조업 육성 정책 강화	0.017	15	0.016	15	△0.001
	환율변화에 따른 소재 가격경쟁력 약화	0.021	13	0.024	13	0.003
	우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피	0.048	9	0.068	5	0.020
	주요 선진국의 기술보호주의 강화	0.037	11	0.067	7	0.030

3. 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력 제고전략(안)

<표 6>의 최종 가중치를 토대로 긍정(+)적 요인의 강점과 기회는 4분면 상위 윗부분에, 부정(-)적 요인의 약점과 위협은 아래 부분에 위치시키면 [그림 4]처럼 우리나라의 과학기술경쟁력 제고를 위한 SWOT 시각도를 나타낼 수 있다. 따라서 [그림 4]의 최종 상대적 중요도가 높은 PEST-SWOT 요인들을 토대로 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력에 대한 제고전략(안)을 제시해보면 다음과 같다.



[그림 4] 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력 제고 SWOT 시각도

1) 추진 전략

(1) SO 전략: 소재기술의 활용 활성화

강점요인과 기회요인을 극대화하려면 기초 소재 분야의 연구개발에 대한 관심과 투자를 지속적으로 확대하여 대기업들의 소재를 활용한 제조 기술력을 극대화하는 전략을 제안할 수 있다. 이 전략은 우리나라 소재 분야 과학기술경쟁력의 제고와 함께 궁극적으로 국가경쟁력을 높일 수 있는 데 기여할 수 있다.

(2) WO 전략: 핵심 소재 원천기술 개발을 위한 국제 공동연구 강화

약점요인을 보완하고 기회요인을 활용하려면 국제적인 핵심 소재 원천기술의 습득을 위한 공동연구를 강화해야 한다. 이를 위해 글로벌연구실, 해외우수연구기관유치 등의 기존 국제협력사업에서 소재 분야에 대한 한일 간의 국제공동 연구개발 지원을 확대할 필요가 있다. 또한 일본 이외의 미국, 독일 등과 연계하여 미래소재 중심으로 우수 연구진과 협력네트워크를 구축하고 공동연구를 추진하는 우회전략도 병행할 필요가 있다. 이러한 소재 분야의 국제 공동연구를 통해 신소재 분야의 원천기술 개발에 더욱 박차를 가해야 한다.

(3) ST 전략: 소재 분야의 전문인력 양성

강점요인을 극대화하고 위협요인을 최소화하려면 국내 대기업의 우수한 제조기술력을 바탕으로 소재 분야의 전문 인력양성에 주력할 필요가 있다. 이를 위해 구체적으로 대학출연(연)과 기업 간 연계 취업이 보장된 형태로 기업 수요에 부응하는 맞춤형 소재 전문인력 양성 프로그램을 운영하거나 산업 분야별 R&D 전문 인력 양성과정에서 해당 분야 소재 교육 기회 제공 프로그램 마련운명을 모색해볼 수 있다. 나아가 「재일한국 과학기술자협회(1983년 설립, 회원수 약 1만2천명)」 등을 적극 활용하여 소재 분야 인적 교류 네트워크도 강화해 나가야 한다.

(4) WT 전략: 한우물 파기 연구 지원 강화

약점을 보완하고 위협을 극복하려면 원천소재 확보를 위한 ‘한우물 파기’의 연구지원을 강화할 필요가 있다. 앞서 지적했듯 소재 분야의 평균 연구기간이 3.1년에 불과하며 개발연구의 투자비중이 매우 높기 때문이다. 이러한 한우물 연구 추진전략은 중국의 급격한 기술추격을 따돌리면서도 일본을 따라잡는 측면에서도 중요하다.¹⁵⁾

2) 제고전략별 상대적 우선순위

상기 네 가지 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력 제고전략(안)은 <표 6>의 최종 SWOT 하위요인별 상대적 가중치를 합산한 이후 정규화하면 추진전략별 우선순위를 제시할 수 있다. 즉 약점 요인의 [핵심 소재의 원천기술 부족(0.184)]의 상대적 중요도와 위협요인의 [우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피(0.068)]의 상대적 중요도를 합산하면 0.198이며 이를 1로 정규화하면 0.280이 산출된다. 이 방식으로 나머지 추진전략의 상대적 중요도를 도출하면 <표 8>과 같다. <표 8>에서 보듯 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력을 제고하려면 네 가지 전략 중 WO 전략인 ‘핵심 소재 원천기술 개발을 위한 국제 공동연구 강화’에 가장 주력해야 한다. 다음으로 WT 전략인 ‘한우물 연구 지원 강화’와 SO 전략인 ‘소재기술의 활용 활성화’, ST 전략인

15) 정부에서는 창조경제 실현을 위한 ‘정부 연구개발 시스템 혁신방안(안)’을 발표하면서 순수 기초연구 지원 분야에 대해 기존 평균 3년 지원에서 10년 이상의 안정적인 장기연구 강화할 예정이다(국가과학기술심의회, 2014: 13-14).

‘소재 분야의 전문인력 양성’의 순으로 추진할 필요가 있음을 파악할 수 있다.

<표 8> 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력 제고전략(안)별 상대적 우선순위

구분	상대적 중요도	정규화	우선순위
SO전략	0.198	0.220	3
WO전략	0.258	0.287	1
ST전략	0.192	0.213	4
WT전략	0.252	0.280	2
합계	0.900	1.000	

IV. 결론

본 연구에서는 PEST-SWOT-FUZZY-AHP 방법론을 통해 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력에 대한 제고전략을 모색하였다. 분석결과 각 SWOT 요인별로 도출된 중요도를 살펴보면, 강점요인에서는 ‘소재를 활용한 대기업의 제조 기술력(0.465)’, 약점요인에서는 ‘핵심 소재의 원천기술 부족(0.422)’, 기회요인에서는 ‘기초 소재 연구의 관심과 투자 확대(0.524)’, 위협요인에서는 상대적 가중치가 ‘우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피(0.389)’가 가장 중요한 요인으로 나타났다. 또한 최종 상대적 중요도의 우선순위의 분석결과를 살펴보면 약점요인의 ‘핵심 소재의 원천기술 부족(0.184)’이 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력을 제고하는데 가장 중요한 1순위 요인으로 파악되었다. 다음으로 강점요인의 ‘소재를 활용한 대기업의 제조 기술력(0.124)’이 2순위, 약점요인의 ‘전문 소재기업의 취약(0.108)’이 3순위, 기회요인의 ‘기초 소재 연구의 관심과 투자 확대(0.074)’이 4순위, 위협요인의 ‘우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피(0.073)’이 5순위 등으로 나타났다. 따라서 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력을 제고하려면 소재 분야의 원천기술 경쟁력을 확보하기 위한 기초연구와 국제 공동연구, 소재 전문인력 양성을 더욱 강화해야 하며 이를 통한 전문 소재기업의 육성이 시급함을 파악할 수 있다. 특히 SWOT 분석에 따른 네 가지 대일 한국 소재분야의 과학기술경쟁력 제고전략(안) 중 WO 전략인 ‘핵심 소재 원천기술 개발을 위한 국제 공동연구 강화’에 가장 주력하여 추진할 필요가 있다.

한편 단순 AHP와 응답 신뢰도를 반영한 퍼지 AHP를 비교분석한 결과 ‘핵심 소재의 원천기술 부족’은 우선순위의 변동이 초래되지 않았지만, 가중치가 더욱 증가(0.022)하였으며, 특히 ‘기초 소재 연구의 관심과 투자 확대’와 ‘우수 인력의 중소 소재기업 취업 기피’ 요인이 가장 크게 변화하였다. 이는 다기준 의사결정 문제에서 전문가의 전문성과 이해도에 따른 응답 신뢰도 요인이 반영되어 나타난 결과로 볼 수 있다. 따라서 고도의 전문성과 복잡성 등이 수반되는 과학기술 전략 수립 시 PEST-SWOT-FUZZY-AHP는 일반적인 계층화분석(AHP)보다 각 과학기술분야별 전문가들의 의사결정들을 체계적으로 고려하는 데 유용한 방법론이라고 볼 수 있다.

본 연구는 기존 정성적인 동료평가에 따라 수립해온 소재 분야의 중장기 과학기술추진전략과 달리 PEST-SWOT-FUZZY-AHP 방법론을 통해 대일 한국 소재 분야의 과학기술경쟁력 제고전략에 대한 상대적 우선순위를 정량적으로 제시하였다는 데 의의가 있다. 하지만 [그림 3]의 대일 한국 소재 분야의 PEST-SWOT 요인 간에 상호관계가 존재함을 반영하지 못하였다. 향후에는 PEST-SWOT-FUZZY-AHP 방법론에 네트워크

크 분석적 의사결정(Analytic Network Process: ANP)을 도입한 연구가 이루어질 기대한다. 또한 PEST-SWOT-FUZZY-AHP 방법론에서는 낙관지수를 0.5로 가정하여 삼각퍼지수를 비퍼지화했으나, 이에 대한 과학적인 도출방법도 모색할 필요가 있다.

참고문헌

- 구분관 (2009), “일본 경제의 버팀목, 소재부품 산업”, 「SERI 경제 포커스」, 제261호.
- 국가과학기술심의회 (2014), “정부 연구개발 시스템 혁신방안(안)”, 제6회 제3호(2014.7.30.).
- 김지용 (2008), “한국 소재산업의 미국시장 수출성과에 관한 연구”, 「통상정보연구」, 10(1): 175-191.
- 오지환·정기호 (2012), “DEA 모형을 이용한 소재부품산업의 효율성 분석”, 「경영정보연구」, 31(1): 273-292.
- 이광배·김창범 (2013), “우리나라 소재부품산업의 효율성 분석”, 「한국산업경제저널」, 5(1): 41-54.
- 이일환·정상기 (2008), “산업특성을 고려한 소재부품 R&D 사업간 효율적 연계 방향”, 「ISSUE PAPER」, 2008-10, KISTEP
- 정상기 외. (2008), 「소재부품산업의 기술 및 제품 특성을 반영한 Industry-oriented R&D 정책기획에 관한 조사분석 연구」. 한국과학기술기획평가원. 연구보고 2008-03.
- 이재걸·이성호 (2005), “국내 소재부품산업의 국제경쟁력 비교분석”, 「산은조사월보」, 제590호: 1-37.
- 이해춘·이규용·이인재. (2007). “정책 평가 방법으로서의 퍼지집합이론의 응용 - 일자리 창출 정책의 경우 -”. 「한국정책학회보」. 16(3): 67-91.
- 이홍배. (2009). “한일 소재부품산업의 무역불균형 요인 분석”. 한일경상논집, 제45권: 109-103.
- 장선미·유미화 (2010), “한국 소재부품산업의 생산성과 국제경쟁력 분석”, 「산업경제연구」, 23(2): 1095-1112.
- 조근태·조용곤·강현수. (2003). 「앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정」. 동원출판사.
- 조성호 외 (2012), 「소재분야 대일무역역조 개선을 위한 대응 방안-미래유망기술과 기술수준조사에 입각한 소재분야 정부 R&D 역할-」, 한국과학기술기획평가원, 연구보고 2013-001.
- 엄익찬·조주연 (2014). “PEST-SWOT-FUZZY-AHP를 활용한 한국 과학기술경쟁력의 제고 전략”, 한국정책학회 추계학술대회 발표논문집.
- 현대경제연구원. (2013). “국내 소재부품 산업의 국제경쟁력 분석”. 현대경제연구원 발표자료(’13.5).
- 한국산업기술진흥원. (2011). 「소재부품기업 종합실태조사」.
- Buckley, J. J. (1985), “Fuzzy hierarchical analysis”, *Fuzzy Sets and Systems*, 15(1): 233-247.
- Csutora, R. and Buckley, J. J. (2001), “Fuzzy hierarchical analysis: The lambda-max method”, *Fuzzy Sets and Systems*, 120(2): 181-195.
- Chang, D. Y. (1996), “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”, *European Journal of Operational Research*, 95(3): 649-655.
- Cheng, C. H., and Mon D. L. (1994), “Evaluating a Weapon System using Fuzzy Analytical Hierarchy Process”, *Defence Science Journal*, 44(2): 165-172.
- Dubois, D. and Prade. H, (1978), “Operations on Fuzzy Numbers”, *International Journal of System Science*, 9(6): 613-626.
- Liou, T. S. and Wang, M. J. (1992), “Ranking fuzzy numbers with integral value”, *Fuzzy sets and systems*, 50(3): 247-255.

- Moon, J.-H, and Kang, C.-S. (1999). "Use of Fuzzy set theory in the aggregation of expert judgments", *Annals of Nuclear Energy*. 26(6): 461-469.
- Moon, H.-S. and Lee, J.-D. (2005), "A fuzzy set theory approach to national composite S&T indices", *Scientometrics*. 64(1): 67-83.
- Opricovic, S. and Tzeng, G.-H. (2003), "DEFUZZIFICATION WITHIN A MULTICRITERIA DECISION MODEL", *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(5): 635-652.
- Weihrich, H. (1982), "The TOWS matrix-A tool for situational analysis", *Long Range Planning*, 15(2): 54-66.
- Zadeh, L. A. (1965), "Fuzzy sets", *Information and Control*, 8: 338-353.