

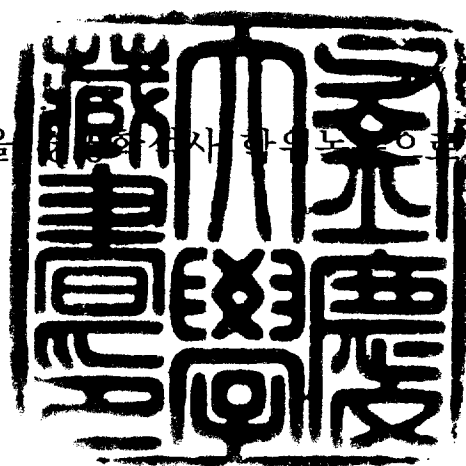
71-1
H-2.4
24
-2

경영학석사 학위논문

폐아스팔트 콘크리트 재활용의 경제적 효과분석에 관한 연구

지도교수 류 태 모

이 논문을 경영학석사 학위논문으로 제출함



2002년 2월

부경대학교 경영대학원

중 소 기 업 학 과

이 상 두

이상두의 경영학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 일

주 심 공학박사 이 강 우



위 원 경영학박사 김 창 완



위 원 경영학박사 류 태 모



< 목 차 >

I. 서 론	1
1. 연구목적	1
2. 연구방법 및 연구범위	2
II. 폐아스콘의 발생과 처리실태	4
1. 폐아스콘 발생현황	4
2. 폐아스콘의 재활용공법	6
1) 아스팔트 포장의 재생공법	8
2) 재생 아스팔트 포장의 공용성	13
3. 재생 아스팔트 콘크리트의 성분분석과 제조공정	14
1) 재생 아스팔트 콘크리트의 성분분석	14
2) 재생 아스팔트 콘크리트의 제조 공정도	15
4. 주요국가의 폐아스콘의 재활용 현황	16
1) 미국의 폐아스콘의 재활용 현황	16
2) 일본의 폐아스콘의 재활용 현황	17
3) 캐나다의 폐아스콘 재활용 현황	19
4) 유럽의 폐아스콘의 재활용 현황	20
5) 각국의 폐아스콘 재활용률 비교	21
III. 경제성 평가의 이론적 배경	23
1. 재활용의 기초개념	23
1) 경제활동과 폐기물	23
2) 폐기물의 재활용	24
3) 폐아스콘 재활용 과정	25
2. 폐아스콘의 경제성 평가방법	26
1) 경제성의 개념	26
2) 폐아스콘의 경제성 평가 방법 및 항목	27

3. 비용의 추정방법	28
1) 비용의 개념	28
2) 비용의 추정 방법	28
IV. 폐아스콘 재활용의 경제적 효과분석	31
1. 처분 방법별 비용의 산출	31
1) 재활용	31
2) 매립	39
2. 폐아스콘 재활용의 경제적 효과 분석	40
V. 결 론	42
1. 결론	42
2. 한계점	44
참고문헌	
I. 국내문헌	45
II. 국외문헌	47
Abstract	48

< 표 목차 >

<표Ⅱ-1> 폐아스콘 발생 및 처리 현황	5
<표Ⅱ-2> 지정부산물 재활용 목표 율	5
<표Ⅱ-3> 연도별, 용도별재활용계획량('94년, '95년) 및 재활용실적('94년)	6
<표Ⅱ-4> 재생아스팔트 콘크리트의 생산 적정 배합비율	14
<표Ⅱ-5> 재생아스팔트 콘크리트 (B. B) 품질시험 성과	15
<표Ⅱ-6> 미국 주요 주의 폐아스콘 재활용 현황	17
<표Ⅱ-7> 일본 전국 아스콘 제조 통계(1998)	18
<표Ⅱ-8> 유럽 각국의 폐아스콘 재활용율 현황	21
<표Ⅱ-9> 각 나라별 폐아스콘 재활용률	22
<표Ⅲ-1> 폐아스콘 처분 수단별 비용 항목	27
<표Ⅲ-2> 폐아스콘의 처분방법별 비용의 추정방법	30
<표Ⅳ-1> 노면 파쇄기 손료	32
<표Ⅳ-2> 노면 파쇄기 운전경비 산정	32
<표Ⅳ-3> 노면 파쇄기의 시간당 비용 (w = 2.0m)	32
<표Ⅳ-4> 덤프트럭 손료	35
<표Ⅳ-5> 덤프트럭 운전경비 산정	35
<표Ⅳ-6> 덤프트럭 경비산정	36
<표Ⅳ-7> 폐아스콘 운반 작업경비 (운반거리 20km)	36
<표Ⅳ-8> 폐아스콘 톤당 재생비용	38
<표Ⅳ-9> 수도권 매립비용	39
<표Ⅳ-10> 매립과정에서의 환경오염비용	40
<표Ⅳ-11> 폐아스콘의 처분 방법별 소요 비용 비교	41

< 그림목차 >

<그림 II-1> बैचipl랜트에서 퍼그밀로 RAP의 투입	9
<그림 II-2> बैचipl랜트에서 퍼그밀로 RAP의 투입	10
<그림 II-3> 단일형 장비(Single Unit Train)	11
<그림 II-4> 2중 연결 장비(Two Unit Train with Miling Machine)	11
<그림 II-5> 3중 연결 장비(Full Three unit Train with Paver)	11
<그림 II-6> 제조공정도 (일반)	15
<그림 II-7> 재생 아스팔트 콘크리트 제조공정도	16
<그림 III-1> 폐기물 발생과정	24
<그림 III-2> 폐아스콘 매립 및 재활용 공정도	26

I. 서 론

1. 연구목적

폐아스팔트 콘크리트(이하 폐아스콘이라 한다)를 재활용한 아스팔트 포장의 재생공법(recycling of asphalt pavement)에 대한 개념은 1915년경에 최초로 등장하였다. 그 당시에는 환경오염에 대한 인식부족과 아스팔트 콘크리트의 가격이 낮아서 기존의 포장을 제거→저장→재생하는 것이 새로운 재료를 이용하여 아스팔트 혼합물을 생산하고 포설(鋪設)하는 것보다 비용이 많이 소요되어 실제로 아스팔트 포장의 재생공법이 적용되지 않았다.

그러나 1970년대 중반에 일어난 석유파동에 의한 원유가격의 급등으로 아스팔트 가격상승과 천연골재의 부족으로 아스팔트 포장공사비가 급격하게 증가하였다. 뿐만 아니라 폐아스콘의 매립처분에 따른 환경오염에 대한 인식의 증가로 아스팔트 포장의 재생공법이 선진국을 중심으로 일반화되기 시작하였다. 또한 기술적인 측면에서 각종 도로공사로 인하여 발생하는 폐아스콘에 대한 효율적인 재활용과 친환경적인 방안을 모색하게 되었다. 그리고 연구결과 폐아스콘을 사용한 재생 아스팔트 콘크리트가 新製 아스팔트 콘크리트와 동등한 품질로 性狀回復이 가능하고, 물리적·역학적 특성이 신재 아스팔트의 제조시방기준을 만족시켜 도로공사 현장에 재생 아스팔트 콘크리트를 적극적으로 사용하게 되었다. 아울러, 효율적인 절삭기계(milling machine)와 드럼믹서 플랜트(drum Mix plant)의 개발도 아스팔트 포장의 재생공법의 일반화에 큰 기여를 하였다.

우리나라는 매년 전국적으로 도로굴착공사, 포장개량, 덧씌우기, 노면정비 공사 현장에서 1999년도에 약 340만 톤, 2000년도에는 무려 410만 톤의 폐아스콘이 발생하고 있다. 이처럼 매년 엄청나게 발생하고 있는 폐아스콘의 처리를 선진국과는 달리 쓰레기 매립장에 매립하거나 복구·성토용 등으로 처리하여 왔다.

그러나 종래의 처리방법으로는 한계점에 이르렀다. 그리고 무엇보다도 폐아스콘을 매립이나 성토용으로 사용할 때 발생할 2차 환경오염에 대한 연구나 조사가 전혀 없는 실정이다. 그러므로, 앞으로 환경에 어떠한 영향

을 미칠지 모르는 상태다. 또한 기존의 폐기물 매립장의 잔여 사용기간이 5~15년(평균 8년) 정도에 불과하며, 새로운 매립장의 확보는 환경단체의 반대와 민원 등으로 난항이 예상된다. 이러한 관계로 정부는 매년 위생 매립장 건설과 운영비에 막대한 예산을 투입하고 있는 실정이다.('97~2002 까지 설치비 약9,800억원) 이런 여러 가지 문제를 고려할 때, 폐아스콘의 재활용율을 향상시키는 것은 커다란 과제가 아닐 수 없다.

또한 환경문제와 천연자원의 고갈 문제를 고려하면, 폐아스콘의 처리가 장기적인 관점에서 반드시 검토되어야 하며, 특히 지속적으로 도로망의 확충이 필요한 우리나라의 도로사정을 감안한다면 폐아스콘의 재활용은 반드시 필요하다. 그러나 우리나라는 실정을 살펴보면 대부분의 폐아스콘 재활용에 대한 연구는 공학적 특성에 대한 연구에 치중하고 있으며, 폐아스콘 재활용으로 발생하는 경제적 효과분석에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 폐기물 재활용의 성과를 높이는데는 여러 가지 정책이 있을 수 있다. 그러나 근본적으로 정부의 강력한 정책 의지와 이를 수행하는 개인 및 기업 그리고 국가에 무엇보다도 경제성이 있어야 한다. 현재 우리나라의 폐아스콘의 대부분은 재활용할 수 있음에도 불구하고 쓰레기 매립장에 매립 처리 하거나 성토용으로 사용하고 있어 아까운 자원이 낭비되고 있는 실정이다. 이것은 폐아스콘 재활용으로 얻어질 수 있는 경제성에 대한 인식의 부족 때문이라고 생각한다.

따라서 본 논문은 폐아스콘의 처분을 매립과 재활용으로 구분하여 경제적 효과를 분석하고, 이를 통하여 폐아스콘 재활용을 활성화시키는데 연구의 목적이 있다.

2. 연구방법 및 연구범위

지금까지 우리나라에서 폐아스콘의 재활용에 대한 연구는 주로 공학적 측면에서 폐아스콘의 재활용에 필요한 기술개발과 재생첨가제의 개발에 초점을 두었다. 이러한 연구들은 폐아스콘을 재활용해야 된다는 취지와 이를 위해서 어떠한 기술을 사용해야 하며, 또 어떠한 재생첨가제를 개발해야만

신제 아스팔트 콘크리트와 동등한 품질수준의 제품을 만들어 낼 수 있는냐에 모든 연구의 초점이 맞추어져 있었다.

본 연구에서는 지금까지의 이러한 관점을 넘어서 경제적 측면에서 우리나라와 선진국의 폐아스콘 발생현황 및 재활용 현황을 비교하여 살펴본다. 그리고, 여러 가지 재활용공법의 종류를 살펴본 후 폐아스콘의 재활용이 가져다 줄 사회·경제적 효과를 분석하여 본다.

이러한 연구 목적을 달성하기 위해서 정부와 각 지방자치단체의 보도자료와 국내외 폐아스콘 재활용에 관한 기술적 분석자료를 활용하여 문헌연구를 하고자 한다.

연구의 범위는 I 장에서 연구목적을 서술하고, II 장에서는 국내 폐아스콘의 발생현황, 처리실태, 그리고 폐아스콘의 재활용공법과 선진국의 재활용 현황을 소개하고, III 장에서는 경제성 평가의 이론적 배경을 기술하며, IV 장에서는 폐아스콘의 재활용이 가져다 줄 경제적 효과를 분석하고, V 장에서는 연구의 결론을 유도하고자 한다.

II. 폐아스콘의 발생과 처리실태

1. 폐아스콘 발생현황

우리나라의 폐아스콘 발생현황을 살펴보면 <표 II-1>와 같이 2000년 말 현재 약415만 톤에 달하고 있으며, IMF 직후인 '98년을 제외하고 매년 큰 폭으로 상승하고 있다. 그리고 처리방법별 처리량을 살펴보면 2000년 말 현재 재활용량이 약370만 톤으로 전체 발생한량의 90.4%를 기록하고 있으며, 다음은 매립장에 매립하여 처분한량이 약40만 톤으로 전체 발생량의 9.6%로 집계되고 있다.

그러나, 재활용율을 살펴보면 <표 II-1>에서 나타난바와 같이 1999년 말 현재 전국적으로 발생하는 폐아스콘 양의 92.6%가 재활용되고 있는 것으로 나타나고 있으나, <표 II-2>의 지정부산물 재활용 실적에 의하면 1999년 폐아스콘의 재활용율은 78.6%로 나타나 같은 환경부 통계가 각각 다르게 집계되고 있다.¹⁾

또한 1998년 발표된 환경부의 제2차 자원 재활용 기본계획에 의하면 1996년 말 현재 폐아스콘의 재활용이 50%로 조사된 것으로 미루어보아 “전국폐기물 발생 및 처리 현황”에서 보여준 재활용 실적보다는 “2000 환경백서”에서 발표된 자료가 신뢰성이 있는 재활용 실적이라 사료되어 본 연구에서는 <표 II-2>의 재활용율을 이용하여 연구를 하고자 한다.²⁾

- 1) 재활용율이 대단히 높은 것으로 나타난 것은 중간처리업체가 단순 파쇄 후 성토용, 기층용으로 활용하는 부분과 현장에서 일정규격(30cm 미만)으로 파쇄한 후 성토용으로 재활용 하는 부분까지도 재활용 실적으로 집계한 것으로 판단됨
- 2) 폐기물 통계 작성의 문제점(환경부, 전국 폐기물 발생 및 처리 현황 작성지침, 2000)
 - 폐기물 총발생량 산정의 정확성 미흡- 지자체 이외의 폐기물 처리자(처리 업체, 재활용 신고자, 재활용자 등)의 폐기물 처리 및 재활용량 파악 미흡.
 - 폐기물 매립, 소각장 계량시설 미설치 -개략적 반입량 산정(차량대수에 의한 산정)
 - 폐기물 성상별 발생량 조사 미흡 - 계절별로 조사하여야 하나 전년도 발생추이 또는 환경영향 평가서등을 인용하여 추정치 보고
 - 폐기물통계간 수치가 상호 일치하여야 하나, 큰 오차를 보임으로써 통계의 정확성 및 신뢰성 저하
 - 「폐기물 발생 및 처리 현황」에 나타난 매립, 소각, 재활용량과 폐기물처리시설별 매립, 소각, 재활용 실적의 통계가 서로 상이
 - 「폐기물의 종류별 발생 및 처리현황」과 「주체별 처리현황」의 불일치

그리고 <표 II-3>에서 나타난 바와 같이 폐아스콘의 용도별 재활용 현황은 최종 처분량의 93.6%가 성토복구용으로 사용되고 있으며, 실제적인 재활용인 도로포장용으로 사용된량은 매우 미미한 실정으로 폐아스콘의 재활용내용이 많이 왜곡되어 있다. 이러한 현상은 폐아스팔트 콘크리트 재활용의 당초 목적인 자원의 재활용으로 골재부족의 해소로 천연자원의 보호하고, 환경의 오염방지라는 목적에 크게 벗어나 있는 실정이다.

<표 II 1> 폐아스콘 발생 및 처리 현황

(단위: 천톤)

수 량 년	발생량	처 리 방 법			재활용율 (%)
		매 립	소 각	재활용	
1997	2,733.3	471.2	0.4	2,261.7	82.7
1998	2,871.3	278.3	3.0	2,590.0	90.2
1999	3,400.7	252.2	0.4	3,148.1	92.6
2000	4,156.7	398.7	0.2	3,757.8	90.4

자료 : 환경부, “전국폐기물 발생 및 처리 현황” (1998~2001)

<표 II-2> 지정부산물 재활용 목표율

(단위 : %)

구 분	세 구분	1997	1998	1999	2000~ 2001	2002
건설 폐재	폐아스콘	10(61.0)	35(69.2)	35(78.6)	70	75
	폐콘크리트	25(64.6)	50(72.9)	50(73.8)	70	75
	토 사	30(63.5)	60(74.7)	60(70.7)	70	75

※ ()는 재활용 실적율

※ 자료 , 2000 환경백서, 환경부

<표 II-3> 연도별, 용도별 재활용계획량(1994년, 1995년) 및 재활용 실적(1994년)

(단위 : 톤)

구분 재활용,용도	폐아스팔트 포장재료			구분 재활용,용도	폐아스팔트 포장재료		
	94계획	94실적	95추정		94계획	94실적	95추정
성토, 복구용	175,510	129,556	161,646	재생골재	0	0	0
보수공사용	0	0	0	건축, 토목공사의 자재이용	0	0	0
도로기층용, 보조기층용	5,131	6,662	26,559	재활용량(A)	180,641	136,218	188,205
포장타르	0	0	0	기타재활용량 (B)	13,724	2,101	28,925
아스팔트 혼합물	0	0	0	최종처분량(C)	187,400	131,374	79,217
도로포장용 아스팔트	0	0	0	발생량(D)	402,066	312,078	484,169
유화아스팔트	0	0	0	불법투기량 (D-A-B-C)	20,301	42,385	187,822

자료 : 건설교통부, “폐아스팔트 포장재료의 개질 재활용 기법에 관한 연구 (I)”, 1998

2. 페아스콘의 재활용공법

아스팔트 포장의 재생공법에 대한 평가와 연구는 주로 북아메리카와 유럽국가의 도로설계와 시공 및 유지관리에 관련된 기관을 중심으로 해서 활발히 수행되고 있다. 이들 기관을 미국을 중심으로 살펴보면 다음과 같다³⁾

3) 부경대학교 산업과학기술연구소, 『페아스팔트 재활용기술에 관한 연구용역 보고서』, 1999

- ① 연방 도로국(Federal Highway Administration; FHWA)
- ② 아스팔트 연구소(The Asphalt Institute; AI)
- ③ 아스팔트기술센터(National Center for Asphalt Technology; NCAT)
- ④ 아스팔트포장협회(National Asphalt Pavement Association; NAPA)
- ⑤ 아스팔트 재활용/재생협회(Asphalt Recycling Reclaiming Association; ARRA)

이들 기관들은 미국에 근거를 두고 있지만 주변 국가들 뿐 만 아니라 세계의 여러 나라들과 아스팔트 포장의 재활용 및 재생기술에 관한 정보와 기술을 습득하고 서로 교환하는 구심점 역할을 하고 있다. 특히 아스팔트 재활용/재생협회(ARRA)에서는 미국내의 아스팔트 재활용/재생에 관련된 업체를 주축으로 해서 캐나다, 호주, 유럽 국가, 일본을 비롯한 아시아 국가의 관련 업체들이 회원으로 가입되어 있으며, 전문가들을 중심으로 한 별도의 기술분과와 자문기관을 두고 있다. ARRA에서는 주로 아스팔트 재생공법의 설계와 시공에 관련된 지침서를 편찬하고 있으며, 아스팔트 포장의 재생공법의 공용성과 이와 관련된 새로운 기술과 장비에 관한 정보를 교환하고 토론하는 세미나 및 학술대회를 정기적으로 개최하고 있다. 기술분과 위원회에서는 재생아스팔트 포장의 공용성 향상을 위해서 지속적인 연구를 수행하고 있다.

이와 같이 외국에서는 아스팔트 포장의 재생공법에 대한 기술개발과 공용성 향상에 대한 지속적인 연구가 수행되고 있다. 따라서, 재생 아스팔트 포장의 품질과 공용성에 관한 자료가 축적됨에 따라, 재생 아스팔트 포장에 관한 기술이 향상될 것으로 기대되므로 아스팔트 포장의 재활용율이 더욱 증가할 것으로 기대된다.

우리나라에서도 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”의 제2조와 제12조, 동법시행령의 제 5조와 제 22조, 그리고 “건설 폐자재 배출 사업자의 재활용 지침” (환경부 고시 제94-1호, 건설교통부 고시 제94-1호)의 제3조와 제7조 등에서 아스팔트 포장의 재활용에 관한 법적 근거를 마련해 놓고 아스팔트 포장의 재활용을 권장하고 있다. 그러나, 국내에서는 아스팔트 포장의 재생공법에 대한 인식 부족과 재생 아스팔트에 대한 공용성에 대한 불신감으로 적용이 쉽게 이행되지 않고 있는 실정이다.

1) 아스팔트 포장의 재생공법

가. 재생공법의 종류

현재 외국에서는 기존 포장의 파손상태와 구조적인 문제점, 대상 도로의 상황, 그리고 장비의 활용성에 따라 아스팔트 포장의 재생공법을 다양하게 적용하고 있다. ARRA에서는 아스팔트 포장의 재생공법을 ① Cold Planing, ② Hot Mix Recycling, ③ Hot in-Place Recycling, ④ Cold in-Place Recycling, 그리고 ⑤ Full depth Reclamation 등과 같이 5가지로 분류하고 있으며,

이들 공법의 특징 및 적용성을 간략하게 살펴보면 다음과 같다

① Cold Planing

기존의 아스팔트 포장을 일정한 깊이까지 절삭해서 바퀴자국(rut), 요철 등과 같은 노면결함을 제거함으로써 표층의 기능을 복구하는 방법이다. Cold Planing은 self-propelled rotary drum cold planing machine을 이용해서 수행되고 노면 절삭으로 인해서 발생하는 RAP(재생 아스팔트 포장재료:reclaimed asphalt pavement)는 트럭을 이용해서 야적장으로 운반한다. 절삭 후 거친 상태인 노면은 별도의 처리를 하지 않고 즉시 차량의 통행이 가능하며, 차후에 덧씌우기를 한다.

② Hot Mix Recycling

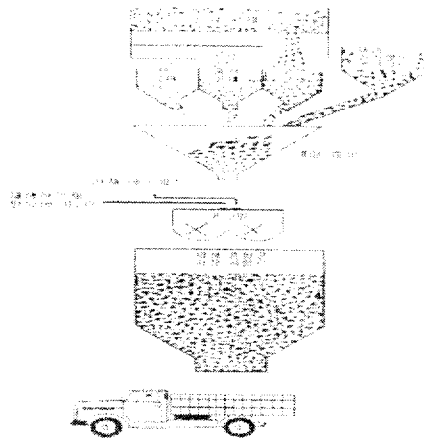
Hot Mix Recycling은 현장에서 손상된 포장으로부터 RAP 채취 → 플랜트로 RAP 운반→플랜트를 이용해서 재생 HMA 생산→재생 HMA를 현장으로 운반→재생 HMA의 보설(鋪設) 및 다짐의 공정으로 수행된다.

RAP는 절삭기(milling machine)를 이용해서 포장을 소요 깊이까지 부분적으로 절삭하거나 불도저 또는 브레이커를 이용해서 아스팔트 포장의 전 깊이를 취급이 가능한 크기의 블록형태로 파쇄(破碎)해서 취득한다. 절삭한 RAP는 플랜트에서 별도의 처리공정을 거치지 않고 그대로 사용할 수 있으나 불도저 또는 브레이커를 이용해서 파쇄한 RAP는 혼합하기 전

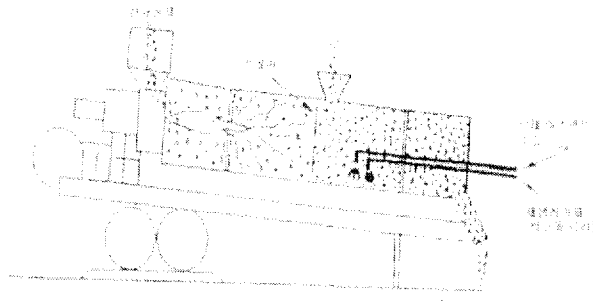
에 크러셔(crusher)를 이용해서 일정한 크기 이하로 분쇄한다.

재생 HMA는 <그림 II-1>과 <그림 II-2>에 제시한 바와 같은 बै치 플랜트(Batch plant)또는 드럼믹서 플랜트(Drum mixer plant)를 이용해서 고온의 상태에서 적정량의 신소재와 RAP를 혼합해서 생산한다.

RAP과 신소재의 혼합비는 사용하는 플랜트의 종류에 따라서 일반적으로 बै치 플랜트의 경우에는 30: 70, 드럼 믹서 플랜트의 경우에는 50: 50 정도의 비율로 적용한다. 플랜트에서 생산된 고온 혼합물은 트럭을 이용해서 현장으로 운반한 후 기존의 아스팔트 포장 장비를 이용해서 혼합물의 포설하고 전압을 하므로 별도의 포장장비가 필요 없는 공법이다. Hot Mis Recycling방법은 손상된 포장의 구조적인 능력을 향상시킬 뿐 만 아니라 신재(新材)를 사용한 HWA 포장에 비해서 공용성이 동등하거나 우월하다고 평가되었다. 또한 이 공법은 표층의 변형이나 균열 등과 같은 문제를 해결할 수 있다는 장점이 있다.



<그림 II-1> बै치플랜트에서 퍼그밀로 RAP의 투입



<그림 II-2> 배치플랜트에서 퍼그밀로 RAP 의 투입

③ Hot In-Place Recycling(HIPR)

HIPR 공법은 기존의 포장에 열을 가해서 연화시킨 후 소요 깊이까지 기계적으로 포장을 파헤친 후 그 자리에서 재생 HMA를 생산한다. 이 과정에서 필요한 경우에는 신 아스팔트, 신 HMA, 신 골재 또는 재생제(recycling agent)를 첨가하기도 한다. HIPR은 single-pass 또는 multiple-pass 공정이 있으며, Single-pass공정은 먼저 RAP를 신재 아스팔트와 혼합해서 다지는 공법이고, multiple pass operation은 먼저 RAP를 다진 후 그 위에 새로운 HMA를 이용해서 마모층을 시공하는 방법이다.

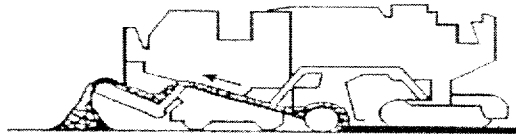
HIPR 공법으로 처리가 가능한 깊이는 19~38mm이고, 이 공법의 장점은 표면 균열을 제거할 수 있고 소성변형(rutting), 밀림현상에 의한 변형(shoving), 범프(bump) 등의 포장 결함을 교정할 수 있다. 그리고 HIPR의 큰 장점은 RAP 발생 → 재생 HMA 생산 → 포설의 전 공정이 현장에서 직접 수행되므로 재료의 운반비를 절감할 수 있다는 장점이 있다.

④ Cold In-Place Recycling (CIPR)

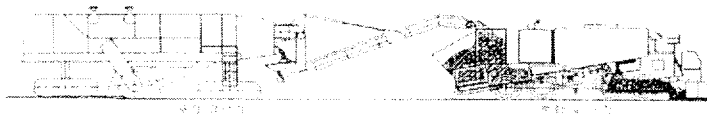
CIPR 공법의 시공은 상온에서 기존의 포장을 절삭하고 RAP의 입도를 조정한 후 recycling agent를 첨가해서 포설하고 다짐을 한다. 절삭으로부터 재생 아스팔트의 생산까지 일련의 공정은 <그림 II-3>~<그림 II-5>

에 제시한 바와 같은 recycling train을 이용한다.

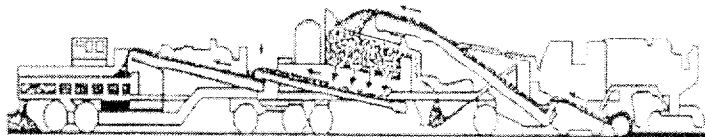
CIPR 공법은 가열을 하지 않고 현장에서 기존의 포장재료를 재활용한다는 장점이 있고, recycling agent를 제외하고는 재료의 운반이 필요치 않으므로 수송비가 적게 소요된다. CIPR 공법에 의한 처리 깊이는 75 ~ 100 mm이고 CIPR 공법은 포장의 구조적인 기능을 향상시키고, 포장의 결함을 치유하고, 승차감을 향상시키고, 수송비를 절감할 수 있으며, 또한 재생 아스팔트를 생산하는 과정에서 열을 가하지 않으므로 hot mix recycling이나 HIRR 공법에 비해서 대기오염 문제를 최소화할 수 있다는 장점이 있다.



<그림 II-3> 단일형 장비(Single Unit Train)



<그림 II-4> 2중 연결 장비(Two Unit Train with Milling Machine)



<그림 II-5> 3중 연결 장비(Full Three unit Train with Paver)

⑤ Full Depth Reclamation

Full depth reclamation 공법은 아스팔트 포장의 전 단면을 재생하는 방법으로 포틀랜드 시멘트, 플라이 애쉬(fly ash), 석회(lime) 등과 같은 첨가제를 이용해서 기층을 안정처리 한 후에 재생 아스팔트 혼합물을 이용해서 표층을 시공하는 방법이다.

공정은 기존 포장의 절삭 및 분쇄, 첨가제 적용, 다짐, 표층 또는 마모층 시공의 순으로 수행된다. 처리가 가능한 깊이는 100 - 305mm이고, 본 공법의 장점은 포장 결함의 대부분을 처리할 수 있으며, 수송비의 경감, 구조적인 기능이 크게 향상(특히 기층의 구조적인 기능), 잉여 재료의 처리가 필요 없고, 승차감이 향상된다는 것이다.

나. 재생공법의 선정

위에서 언급한 5가지의 재생공법은 통상적인 아스팔트 포장의 부활공법에 비해서 많은 장점이 있지만 포장의 손상 또는 결함 형태와 그 정도에 따라서 적용성이 다르다. 또한 각 공법이 기존의 결함을 교정하는 능력이 다르기 때문에 기존의 포장에 나타난 손상과 결함의 정도와 형태를 잘 파악해서 적절한 공법을 선택해서 적용해야 한다.

포장의 결함과 파손의 정도 및 범위에 따라서 재생공법의 적용 효과가 다르기 때문에 공법을 선정하기 전에 기존의 포장에 대한 상세한 평가가 이루어져야 한다. 일단 포장의 파손 상태, 범위 및 형태가 구분되면 이에 적합한 몇 가지의 재생공법을 선정해서 효율성과 경제성을 근거로 적합성을 평가해야 한다. ARRA에서는 포장의 파손상태를 다음과 같이 5가지로 분류하고 있다⁴⁾

- ① 표면 결함(surface defects)
- ② 변형(deformation)
- ③ 균열(cracking)
- ④ 유지관리 작업으로 인한 패칭(maintenance patching)

4) 부경대학교 산업과학기술연구소, 『페아스팔트 재활용기술에 관한 연구용역 보고서』, 1999

⑤ 기층/노상에 관련된 문제(base/subgrade problems)

⑥ 승차감(평탄성) 불량(poor ride/roughness)

ARRA에서 제시한 지침에 의하면 Cold planing 공법은 주로 포장의 표면결함을 치유하고, HIPR공법은 포장의 표면결함, 변형, 균열 및 평탄성을 치유하며, CIPR공법은 소성변형, 균열(특히 반사균열), 평탄성을 치유한다. Full depth reclamation 공법은 소성변형, 균열(반사균열 포함), 평탄성과 특히 기층/노상의 문제점을 치유하는 데 주로 적용하지만 Hot, mix recycling 공법은 기층/노상의 문제를 제외한 포장의 모든 결함을 치유할 수 있기 때문에 적용 범위가 가장 광범위한 공법이다.

2) 재생 아스팔트 포장의 공용성

1970년대 중반기부터 아스팔트 포장의 재생공법을 적용한 이후로 현재까지 수년간에 걸쳐서 환경조건이 다양한 지역에서 얻은 경험에 의하면 적절하게 설계된 재생 아스팔트 포장은 종래의 overlay공법에 비해서 공용성이 유사하거나 더 우수한 것으로 판명되었다. 따라서, 각종의 아스팔트 포장 재생공법의 공용성에 대해서 간략하게 살펴보면 다음과 같다.

가. Hot Mix Recycling 공법의 공용성

HMA 재생공법은 현재까지 가장 활발하게 적용된 방법으로 각종의 문헌에 보고된 재생 HMA포장과 신 HMA 포장에 대한 비교시험 결과에 의하면 신 HMA 포장에 비해서 재생 HMA 포장의 공용성이 유사하거나 더 우수한 것으로 판명되었다. 미국 내에서만 해도 매년 1,500만 톤 이상의 RAP이 Hot mix recycling 공법에 의해서 재활용되고 있다.

나. HIPR 공법의 공용성

HIPR와 관련된 장비와 기술이 미흡했던 초창기에 시공한 HIPR 포장의 공용성은 대체적으로 만족스러운 것으로 보고되었으나, HIPR에 관련된 기술과 장비가 현저하게 개선된 근래에 와서는 HIPR 포장의 공용성이 크게

향상된 것으로 보고되고 있다.

일부 지역에서는 HIPR 포장의 공용성이 불량한 경우와 우수한 경우로 상반되게 나타난 사례도 있었으나, 공용성이 불량한 것으로 평가된 경우는 HIPR 공법이 기존 포장의 파손형태에 부적합하였기 때문에 것으로 보고되었다.

다. CIPR 공법의 공용성

CIPR 공법을 주로 많이 적용한 주에서 평가한 공용성은 대부분 양호 또는 매우 양호한 상태인 것으로 보고하고 있으며, 특히 CIPR 공법이 균열에 대한 저항성이 탁월한 것으로 판명되었다.

3. 재생 아스팔트 콘크리트의 성분분석과 제조공정

1) 재생 아스팔트 콘크리트의 성분분석

아래의 <표 II-4>에서 보듯이 일반적인 폐아스콘의 재생에 따른 적정 배합비율과는 달리 폐아스콘의 재활용을 위한 재생첨가제를 사용함으로써 아스팔트의 강도가 신제 아스팔트가 가지고 있는 정도의 강도와 내구력을 갖는 것으로 평가되고 있다. 이는 폐아스콘의 재활용이 정부의 재활용제품 인증제(Good Recycling Mark=G. R 마크)에 부합하는 사업으로 정착될 수 있으며, 한편으로는 폐아스콘의 재활용을 도모하여 자원의 재활용도를 증가시킬 뿐만 아니라 폐아스콘로 인한 공해문제를 방지할 수 있다.

<표 II-4> 재생아스팔트 콘크리트의 생산 적정 배합비율 (단위: kg)

구 분	계	폐아스팔트	신 자 재				
			소계	쇄석(25m/m이하)	모래	석분	AP-3
기층용(B.B)	100	60	40	38내외	-	-	2

자료: 부산광역시 건설안전시험사업소 자료 참조

아래의 <표 II-5>에서 보듯이 폐아스콘을 재생하여 본 결과는 모든 부분에서 신제 아스팔트 콘크리트의 기준치를 초과하거나 적정수준을 유지하고 있으므로, 폐아스콘의 재생 내지 재활용을 적극적으로 유도하여야 할 것이다.

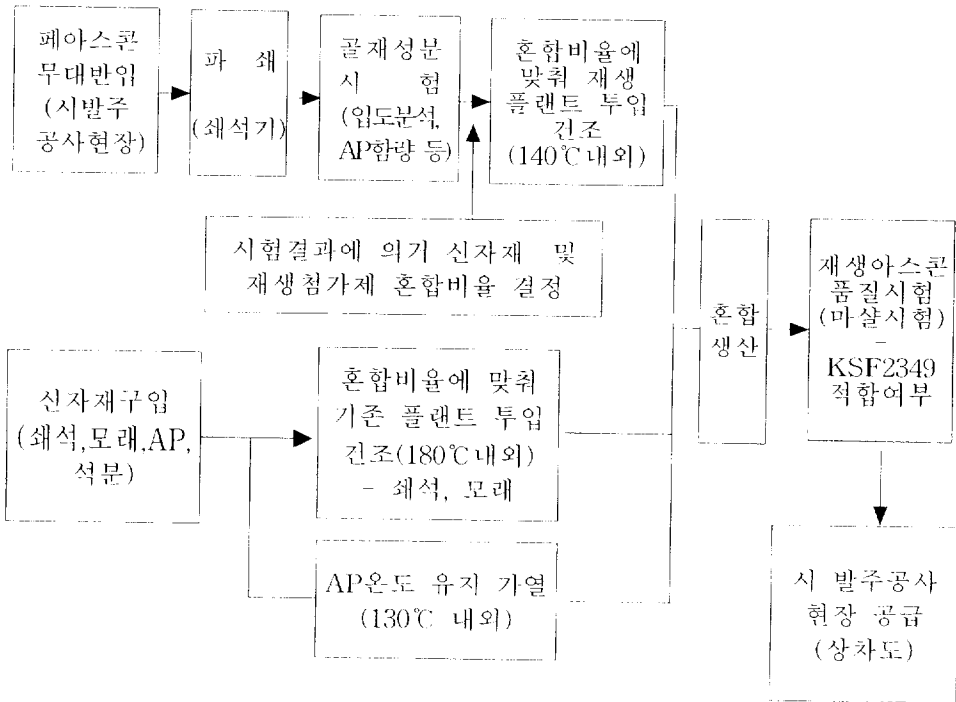
<표 II-5> 재생아스팔트 콘크리트 (B. B) 품질시험 성과

구분	밀도	공극율	안정도	흐름값	AP함량
기준	2.321	3-10	350이상	10-40	3.5-5.5
시험성과	2.340	6.5	1,000내외	33 내외	4.6 내외

자료: 부산광역시 건설안전사업소 자료 참조

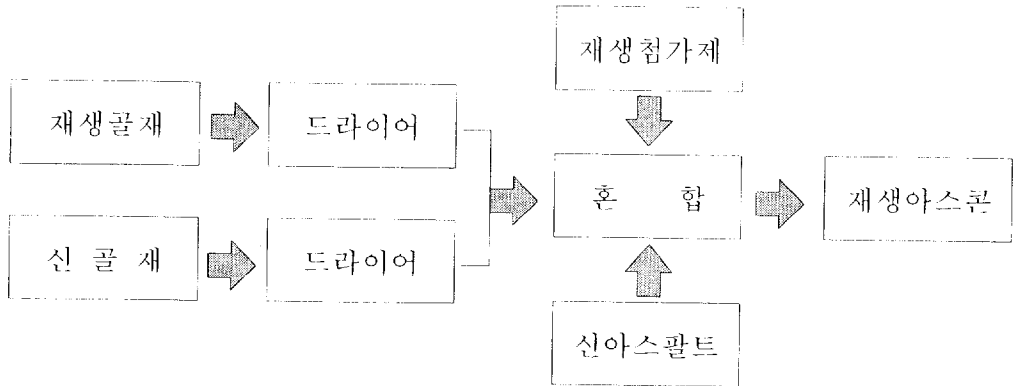
2) 재생 아스팔트 콘크리트의 제조 공정도

(1) 제조공정도 (일반)



<그림 II-6> 제조공정도 (일반)

(2) 재생 아스팔트 콘크리트 생산(고정플랜트 방식)



<그림 II 7> 재생 아스팔트 콘크리트 제조공정도

재생골재 : 폐아스콘 파쇄 19~13m/m, 13~5m/m, 5m/m 이하 3단계 분류

-재생첨가제 : 노화된 아스팔트의 침입도 저하와 아스팔트량 감소를 회복하고 물리·화학적 성질개선 재료

4. 주요국가의 폐아스콘의 재활용 현황

1) 미국의 폐아스콘의 재활용 현황

현재 미국에서는 엄청난 양의 폐자재 처리가 주요 문제로 되어 있다. 공장에서뿐만 아니라 일반 가정에서 매일 엄청난 양의 폐자재가 발생하고 있다. 국민들의 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 정부는 처리비용마저 고가인 이것의 처분에 난감해하고 있다. 또한 많은 폐자재가 법적으로 매립이 금지되어 있으며, 일부 폐자재는 유해물질로 분류되어 매립에 따른 지하수 오염문제가 제기되고 있다. 이러한 문제점을 바탕으로 정부 및 각 기관에서는 폐자재에 대한 재활용 방안을 강구하게 되었다. 그 일환으로 아스팔트 혼합물 또한 재활용방안이 개발되어 현재는 북미 대부분의 지역에서 일반적으로 활용되고 있다. 재활용 방법도 가열, 상온 및 폼드 공법

등으로 다양하게 사용하고 있는 실정이다.

현재 미국 50개 주의 교통국(DOT) 및 워싱턴 D.C를 대상으로 회수 아스팔트 혼합물과 관련된 연구개발 및 사용 여부에 대하여 조사한 결과, 32개 주에서 아스팔트 포장의 재활용에 대한 연구를 진행 중이며, 43개 주는 이미 재활용 공법을 활용하고 있는 것으로 나타났다. 또한 48개의 주에서 회수 아스팔트 혼합물을 신설 포장에 사용하는 내용을 제주시방서에 규정한 것으로 나타나고 있다.⁵⁾

미국의 페아스콘의 재활용율을 살펴보면 각 주에 따라 차이가 난다. <표Ⅱ-6>에서 나타난바와 같이 각주의 페아스콘의 재활용율은 10~70%로 나타나고 있으며, 재활용율이 가장 높은 주는 워싱턴주로 재활용 율이 70%에 이르고 있다.

<표Ⅱ-6> 미국 주요 주의 페아스콘 재활용 현황

주 명	재활용 율	비 고
조지아 주	10~40%	.
루지애나	20~50%	
미네소타	50%	
워 싱 톤	70%	

2) 일본의 페아스콘의 재활용 현황

일본의 경우 1976년부터 연구가 시작되어 재포장 절삭 및 덧씌우기에서 발생하는 포장 발생재를 플랜트로 운반하여 아스팔트 혼합물로 생산하는 공법이 1977년부터 실용화 단계로 들어가 재생플랜트가 제작, 설치되어 운용되고 있다. 1977년도부터 1984년 사이 일본의 총 시공실적은 13,284,000 m² 정도나 되었다. 이와 같은 추세에 따라 일본도로협회의 포장위원회에

5) 부경대학교 산업과학기술연구소, 『페아스팔트 재활용 기술에 관한 연구용역 보고서』, 1999

소속되어 있는 「포장 폐재 재생이용 소위원회」에서 1983년부터 본 공법에 대한 검토가 시작되어 1984년에는 시공실태를 적극적으로 조사 정리하여 기술지침(안)을 작성하였으며 “ブラスト 再生舗装技術指針”을 제시하였다.

일본에서는 1976년에 건설성의 보조금 연구사업으로 재생용 플랜트가 시험제작되어 아스팔트 플랜트에서 포장 발생재의 재생 이용이 시작되었으며, 1980년대에 들어와 재생 아스팔트 혼합물(이하 재생아스콘으로 표기함)의 사용이 본격적으로 시작되었다.

재생아스팔트 콘크리트의 제조량은 <표Ⅱ-7>에서 나타난바와 같이 전체 아스팔트 콘크리트 제조량에서 재생아스콘이 차지하는 비율도 매년 증가하여 1998년에 전국적으로 1,609기의 아스팔트 플랜트 중 1,179기가 재생용 플랜트이다.

1998년에 제조된 아스팔트 콘크리트 7,000만 톤 중 신규아스팔트 콘크리트가 3,459만 톤이고, 재생아스팔트 콘크리트가 3,497만 톤으로 1980년 재생아스팔트 콘크리트에 대한 연구를 시작한 이래, 19년 만에 재생아스팔트 콘크리트의 비율이 50.3%를 차지하여 50%를 초과하였다. 또한 건설성이 실시한 98년도 건설부산물 중간실태조사에 나타난, 건설 폐기물의 재활용(리사이클 율)은 토목공사의 경우 시멘트 콘크리트 덩이가 95.3%, 아스팔트 콘크리트 덩이가 98.1%로 대부분의 폐기물이 재생되고 있음을 알 수 있다.

<표 Ⅱ-7> 일본 전국 아스콘 제조 통계(1998)

제조수량 (1,000톤)	신규아스팔트 콘크리트	34.589
	재생아스팔트 콘크리트	34.973
	합계	69.562
제조회사 수		942
제조공장 수		1,540
플랜트 수	신규아스콘 전용	430
	검 용	1,105
	재생아스콘 전용	74
	합계	1,609

3) 캐나다의 페아스콘 재활용 현황

캐나다 온타리오 주에서는 1987년 교통부에서 구조적으로는 이상이 없으나 표면상의 피로를 보이는 고속도로에 대한 복원방법으로서 ‘가열현장 혼합 재생법’사용 가능성을 결정하기 위한 시범연구를 수행하였다. 이 연구에서는 가열현장포장을 40mm 깊이로 가열하여 현장 혼합 재생하였다. 이 연구의 결과, HIR방법이 기존의 가열혼합 재생을 능가하는 명확한 이점을 가진 실행 가능한 복원기술이라는 것을 증명하였다. 가열현장혼합재생법은 교통방해를 최소화 할 수 있고, 골재의 품질저하가 거의 없으며, 종방향 조인트를 만들 수 있었다. 그리고 재생포장이 가지는 본래의 이점인 환경적, 경제적 차원에서 골재와 에너지를 보호할 수 있으며, 쓰레기가 발생하지 않는 이점 등이 있었다.

그러나, HIR방법에서 해결해야 할 사항들이 있었는데, 이는 시공시 일관성을 유지하기 어려웠고 첨가제를 첨가할 때 통제가 어려웠다는 점이다. 그리고 재생포장도로의 아스팔트 콘크리트를 재생한 아스팔트의 침입도 분석결과를 일반적으로 인정하지 않는 것 등이었다(Thomas, 1995). 그후 브리티시 콜롬비아(B.C)주의 표층 재생가열현장 혼합포장(1991년 400만 m^2)과 온타리오주의 드림 플랜트를 이용한 가열포장(1991년 1300만톤), 뉴펀들랜드에서의 재생포장 등 캐나다 전역에서 상온과 가열혼합 포장이 이루어져 왔다. 그리고 페아스콘의 재활용을 시작한지 13~15년이 되는 British Columbia주, 앨버타주, 온타리오주 등은 재생용 골재의 함량을 20~50%(사스캐취안주는 30~70%)로 사용하였다.

아스팔트 콘크리트 재생용 골재의 함량은 각 주에 따라 최하 15%에서 최대 70%까지 사용비율이 다르게 나타나는데, 이는 재생방법과 재생기술의 발전도 등에 따른 것이다. Rabindra Puttagunta(1996) 등은 가장 널리 사용되어지는 마샬 배합방법이 현장성능을 잘 반영하지 못한다는 점에 착안하여 대부분의 포장 손상(distress)을 반영할 수 있는 성능에 근거한 배합설계방법인 아스팔트 골재 혼합물 분석시스템(Asphalt aggregate mixture analysis system, AAMAS)을 사용하여 재생아스팔트 혼합물의 예상성능(Predicted percentage)을 신규혼합물의 예상성능과 비교하였다. 대체적으로 평가된 모든 혼합물이 AAMAS기준을 만족하였다. 그러나 재생함량(Recycling percentage)이 증가함에 따라 피로저항(Fatiguc

resistance)은 감소하였다. 재생아스팔트 혼합물은 신규아스팔트 혼합물과 비교했을 때 수분피해(Moisture damage)에 대해서는 더 높은 저항성을 보여준다는 것을 알 수 있었다.

아스팔트콘크리트 재생골재를 사용하는 방법은 MTO(Ontario Ministry of Transportation)에서의 연구에 따라 많은 발전이 있어 왔다. MTO는 아스팔트콘크리트 재생골재의 함량을 최대 30%로 설정하여 일반골재와 혼합하여 적합한 입도와 재료 성질을 얻게 하였다.

4) 유럽의 페아스팔트 콘크리트의 재활용 현황

조사된 유럽국가들은 모두 특정한 재활용 정책이나 적극적인 재활용 장려 정책을 사용하고 있다. 유럽 국가들의 절대적 국민정서가 재활용을 지지하는 추세이기 때문에 국가적으로 재활용을 장려하는 움직임을 읽을 수 있으며, 페아스콘 재활용 공법에도 환경친화적 공법을 주로 사용하여 환경적으로 안정된 공법을 사용하고 있다.

네덜란드에서는 도로건설에 있어 자원의 재활용이 수용될 수 있는 방향으로 도로개발계획이 설정된다. 유럽은 천연자재의 매립이나 굴착에 대한 반감이 높기 때문에, 정부는 주어진 시장 수급체제 내에서 가능한 천연자재의 사용을 억제하고 재활용 재료의 활용을 장려하는 정책을 취하고 있다. 정부는 이를 위하여 재활용을 위한 분명한 기술환경 기준을 제시함과 동시에 업계의 위험과 수익을 같이 분담하는 정부업계 협력체제를 구축하고 있다.

유럽에서는 이러한 정책에 힘입어 재생아스팔트 혼합물과 더불어 건물해체 골재, 고로슬래그, 플라이애쉬, 제강슬래그 및 고화시킨 쓰레기 소각잔유분 등의 재료가 재활용되고 있다. <표Ⅱ-8>에서 나타난 바와 같이 유럽 각국의 페아스콘의 재활용율은 국토면적에 비례하여 면적이 좁을수록 재활용율이 높은 것으로 나타났다. 특히 덴마크에서는 페아스팔트 발생량의 전량을 재활용하고 있으며, 인구밀도가 높은 네덜란드도 재활용율이 81%로 매우 높게 나타났다. 이점 우리나라에 주는 시사점이 크다 하겠다.

<표 II-8> 유럽 각국의 폐아스콘 재활용율 현황

	국토면적 (km ²)	인구 (백만)	폐아스팔트 발생량 (백만톤)	재활용율 (%)
스웨덴	410,928	8.88	6.0	50%
덴마크	42,364	5.33	0.8	100%
독일	349,520	82.08	12.0	60%
네덜란드	33,889	15.73	2.4	81%

자료 : (주) FHWA scanning program, European Tour 자료 (1999.9)

5) 각국의 폐아스콘 재활용률 비교

앞에서 살펴 본 바와 같이 현재 선진 각국의 재활용율은 재생공법이나 기술, 자원의 유무, 인구밀도 등에 따라 각 나라별로 다소 차이가 있다. 미국의 경우 재활용 기술은 선두적인 위치에 있으며, 일본의 경우 여러 형태의 재생플랜트를 이용하여 재활용율을 높이고 있다. 특히 인구밀도가 높은 독일이나 프랑스의 경우 표층재생공법을 이용하여 폐아스콘을 재활용하고 있다. 덴마크의 경우 골재원의 고갈, 포장의 폐기비용이 신규아스팔트 혼합물의 비용보다 고가이기 때문에 100% 재활용을 하고 있다. 이와 같이, 자원의 절약, 재생기술의 발전, 환경문제의 해결, 경제성 등으로 선진 각국들의 재활용율은 갈수록 높아지고 있는 실정이다. <표 III-9>는 각 나라별 폐아스콘 재활용율을 나타낸 것이다⁶⁾

6) 이관호, “국내 아스팔트 포장의 재활용 사례”, 한국도로포장공학회(제2권 4호), 2000., pp20-29

<표 III-9> 각 나라별 폐아스콘 재활용률

국가		폐아스팔트 콘크리트 재활용률	자료출처
미국	조지아	10~40%	FWHA-SA 98 402
	루시아나	20~50%	"
	미네소타	50%	"
	워싱턴	70%	"
일본		50.3%	98 일본전국 아스콘 통계 자료
캐나다		20~50% (사스캐취안주 : 30~70%)	폐아스팔트 아스콘통계자료
스웨덴		50%	99 FHWA
덴마크		100%	"
독일		60%	"
네덜란드		81%	"

Ⅲ. 경제성평가의 이론적 배경

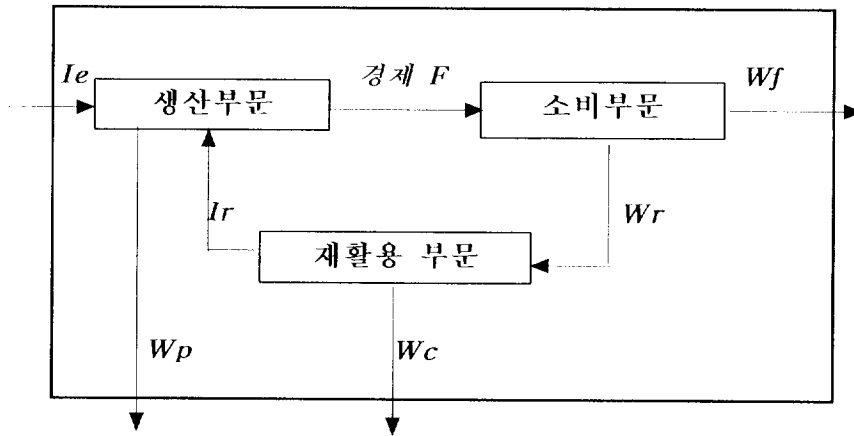
1. 재활용의 개념

1) 경제활동과 폐기물

경제와 자연환경은 상호 독립적인 것이 아니라 밀접한 관계를 맺고 있다. 인간은 필요한 각종 재화를 생산하기 위하여 많은 종류의 천연자원을 채취한다. 이렇게 채취된 천연자원들은 각종재화를 생산하는데 이용되고 소비과정을 거쳐 폐기물을 자연환경으로 돌려주는 사이클을 형성하고 있다.

즉, 생산단계에 투입된 자원의 일부는 재화를 생산하는데 쓰이고 나머지는 생산 폐기물의 형태로 버려진다. 한편 소비단계에 공급된 자원도 소비과정을 거쳐 폐기물화 되는데 일부는 재활용되고 나머지는 자연환경으로 되돌려지게 된다.

여기서 소비란 써서 없애는 것이 아니다. 이는 열역학 제1법칙인 질량보존의 법칙에 의하여 물리적으로 질량을 파괴시킬 수 없기 때문이다. 그러므로 경제시스템에 투입된 천연자원의 양과 자연환경으로 되돌려지는 폐기물의 양은 일치하게 된다. 이와 같이 자원고갈의 문제와 환경오염의 문제가 서로 상충관계에 있기 때문에 이 두 종류의 문제를 상호 분리할 수 없다는 것이 물질균형 접근법(Material balance approach)이다. 그림<Ⅲ·1>에서 보는 바와 같이 환경오염을 근본적으로 줄이려면 경제에 투입되는 천연자원의 양을 줄이는 방법 외에는 대안이 없다. 따라서 투입되는 천연자원을 줄이는 대안으로는 생산량을 줄이거나 생산단계에서 폐기물의 발생량을 줄이는 대안과 폐기물의 재활용 비율을 높이는 대안이 있다.



I_e : 투입된자원의 총량
 I_r : 재활용 량
 F : 생산된 재화량
 W_c : 재생 후 폐기물
 W_p : 생산부문 폐기물
 W_r : 소비부문의 재활용 가능 폐기물
 W_f : 소비부문의 재활용 불능 폐기물

<그림Ⅲ-1> 폐기물 발생과정

2) 폐기물의 재활용

폐기물의 재활용은 생산과 소비의 모든 과정에서 발생하는 폐기물을 경제의 순환과정에 재투입하여 폐기물이 가지고 있는 경제적 가치를 회수하기 위한 일련의 활동으로 정의할 수 있다. 재활용은 버려지는 폐기물을 회수하는 수거과정, 폐기물의 물리적·화학적 성질을 변화시키는 가공과정과 수요처로 공급하기 위한 유통과정을 거쳐 이루어진다. 폐기물 재활용의 형태는 다음과 같이 크게 두 가지로 분류할 수 있다.

첫째, 재활용 및 재이용으로 폐기물을 직접 재이용 하거나, 재제조 또는 재처리하여 새로운 상품으로 회수하는 것이며

둘째, 가연성폐기물을 연소시켜 열, 증기 등으로 회수하거나 폐기물로부터 유기성분을 추출하여 가스화하여 회수하는 열 회수 방법이 있다. 여기

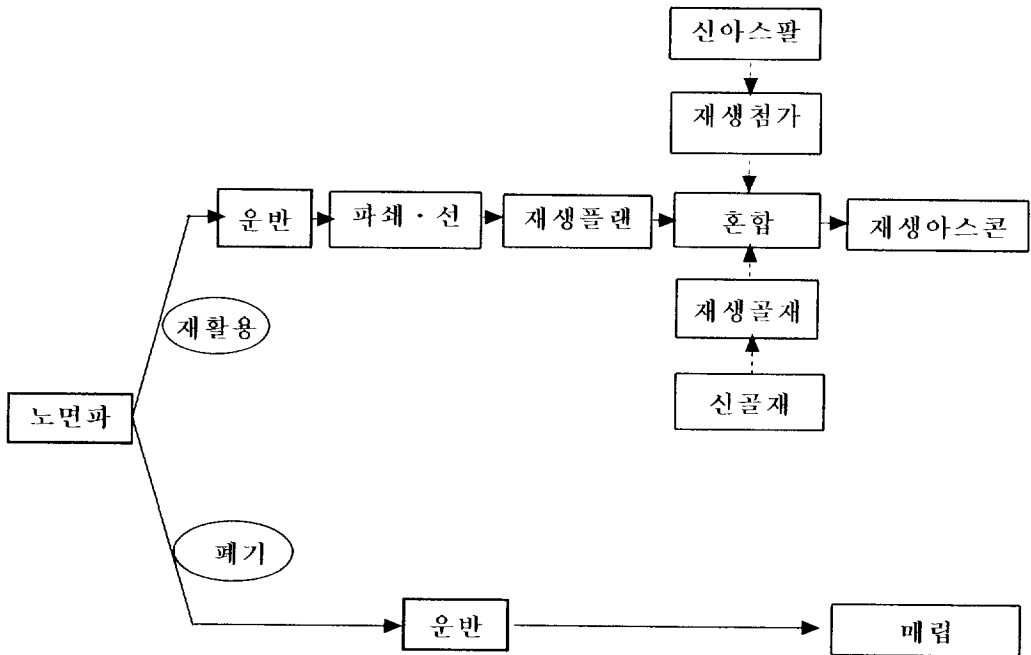
서 재이용은 단순히 재이용에 소요되는 경비와 신제품과의 가격비교로 경제성을 파악할 수 있고, 열 회수 방법은 에너지 부문연구에서 다루어져야 할 것으로 본다. 그러므로 본 연구에서는 폐아스콘을 수거하고 재처리하여 새로운 상품으로 회수하는 과정에 발생하는 경제성을 살펴보고자 한다.

3) 폐아스콘 재활용 과정

폐아스콘의 발생과 재활용 과정을 살펴보면 폐아스팔트의 대부분은 아스팔트 포장도로의 개·보수과정에서 아스팔트 포장 부분을 절삭기 또는 브레카로 파쇄하여 얻는다. 이때 발생한 폐아스콘은 재생 아스팔트플랜트가 설치되어 있는 공장으로 운반된 다음에 선별과정을 거쳐 폐아스콘에 포함된 불순물을 제거한 후 분쇄기를 이용하여 일정한 크기로 파쇄(5mm~19mm정도)되어 재생 골재를 생산하지만 보통은 한 공정으로 이루어지는 경우가 많다. 그리고 신골재와 재생골재를 일정 비율로 배합한 후 혼련하여 재생아스콘을 생산한다. 이때 노화된 아스팔트의 침입도 저하와 아스팔트량 감소를 회복하기 위하여 일정량의 재생첨가제와 신아스팔트를 첨가하여 혼합하는 일련의 과정이 폐아스콘의 재활용의 과정이다.

따라서 재활용되지 않는 폐아스콘은 쓰레기매립지로 운반되어 매립된다. 그림 <그림Ⅲ-2>는 이를 나타낸 것이다.

최근의 국내 폐기물 매립시설은 주변환경오염을 방지하기 위하여 폐가스 및 침출수의 차단을 위한 방지시설을 갖춘 위생매립시설에 중점을 두고 있다. 1998년 말 현재 약84%의 위생매립율을 달성하였고 2004년까지 100%의 위생매립률을 달성하고자하는 것이 정부의 방침이다. 2000년 말 현재 우리나라의 매립시설은 폐기물처리 업체 보유량을 제외한 공공 매립장은 306개소에 달하며, 매립용량은 416,175(천 m^3)이며 잔여 매립량은 15,165천(m^3)이다.



<그림Ⅲ-2> 폐아스콘 매립 및 재활용 공정도

2. 폐아스콘의 경제성 평가방법

1) 경제성의 개념

경제성의 개념은 단순히 하나의 활동에 관련되는 모든 비용과 편익의 비교를 뜻한다. 모든 경제활동은 수행과정에서 여러 형태의 인적 물적 자원의 투입을 필요로 하며 이 투입되는 자원이 비용의 개념을 구성한다. 그리고 모든 경제활동은 그 수행결과 기대한 산출물을 얻게 되는데 이 산출물이 편익을 구성하게 된다. 그러나 비용과 편익의 범위를 어디로 한정하느냐에 따라 경제성은 사적 경제성과 사회적 경제성으로 구분된다. 사적 경제성 평가는 비용과 편익을 그 활동을 수행하는 경제주체에게 귀속되는 비용과 편익으로 국한하며 기술적 접근과 관련 투입재의 가격을 시장에서

관찰함과 함께 재무적 수익성 분석을 통하여 가능하다. 그러나 사회적 경제성 평가는 사적비용과 편익이외에 제3자에게 발생하는 외부편익과 외부 비용까지 포함하며, 주로 경제적 타당성 조사에 의한다. 본 연구는 폐아스콘 재활용의 경제적 효익을 분석하여 폐아스콘의 재활용을 활성화시키는데 있으므로 개별기업이나 지방자치단체 보다도 범국가적 차원에서 이를 적극적으로 추진하여야 할 필요성이 있다. 그러므로 본 연구에서는 폐아스콘 처분에 있어서 처분방법별 비용을 산출하여 폐아스콘 재활용의 사회적 경제성 평가의 개념을 도입하여 분석하고자 한다.

2) 폐아스콘의 경제성 평가 방법 및 항목

폐아스콘 재활용의 경제성 평가는 처분수단인 매립과 재활용을 상대 비교함을 원칙으로 하였으며, 처분수단의 대안별로 비용을 비교하여 경제성을 평가하고자 한다.

<표Ⅲ-1>은 <그림Ⅲ-2>를 기준으로 폐아스콘의 재활용과 매립의 대안별 비용을 정리한 것이다. <표Ⅲ-1>에서 폐아스콘을 재활용하였을 때의 비용항목을 살펴보면, 폐아스콘의 수집비용과 수집된 폐아스콘을 재생플랜트까지 운반하는 운반비 그리고 폐아스콘에 포함되어있는 불순물을 제거하고 일정한 크기로 파쇄하는 선별 및 파쇄 비용이 있다. 또 이 과정에서 발생하는 환경오염비용 등이 폐아스콘 재활용 비용이다. 그리고 폐아스콘을 매립장에 매립할 때 발생하는 비용항목은 수집비용, 운반비, 그리고 매립장의 건설비용과 운영비 및 매립장에서 발생하는 침출수, 지하수오염 등과 같은 환경오염비용이 있다.

<표Ⅲ-1> 폐아스콘 처분수단별 비용 항목

처분방법 항 목	재활용	매립
비용	수집비용, 선별·파쇄비용, 재생비용, 운반비, 재생과정의 오염비용	수집비용, 매립장비용(건설비, 운영비),운반비, 환경오염비용, 사후관리비

3. 비용의 추정방법

1) 비용의 개념

폐아스콘의 재활용과 매립처분에 따른 비용은 직접비용과 간접비용으로 구분할 수 있다. 직접비용은 재활용에 직접적으로 투입되는 비용으로 수집비용과 시설비 그리고 이를 운영하는 운영비가 있으며, 간접비용으로는 환경산업이 간접적으로 유발하는 경제 및 환경효과로 인해 발생하는 비용으로 환경비용이 있다.

2) 비용의 추정 방법

가. 직접비용

① 수집비용

수집비용은 아스팔트 포장의 개·보수나 도로굴착 등 현장에서 폐아스팔트를 수거할 때 소요되는 비용으로 수집시설 및 기자재, 인건비 등이 있으며 재활용과 매립처분을 동일하게 적용된다. 폐아스콘의 수집은 처분방법에 따른 별도의 장비나 공정이 필요 없기 때문에 재활용과 매립을 같은 비용으로 처리하였다. 다만 투입되는 장비에 따라 비용의 차이가 있을 수 있으나, 본 연구에서는 노면절삭기에 의해 노면을 절삭하는 공법을 채택하였다. 이 공법은 지금까지의 브레카와 굴삭기에 의한 노면파쇄공법 보다 효율이 훨씬 뛰어날 뿐만 아니라, 손상된 도로의 표층만 절삭하는 공법으로 최근에 많이 쓰고있는 공법으로서 앞으로 대부분의 도로보수에 쓰일 것으로 예상되고 있다. 뿐만 아니라 노면절삭기에 의한 수거는 재생공정에서 폐아스팔트 콘크리트를 일정 크기(5~19mm)로 파쇄하는 공정이 대폭 절약되어 재생아스콘을 생산하는데 유리하다. 그러나 투입되는 장비가 많고 대형 중장비이므로 폭이 좁은 도로나 소규모의 도로보수에는 불리한 단점이 있다.

② 시설비와 운영비

시설비와 운영비는 폐아스콘의 재활용에 필요한 설비나 공장을 설치하고 이를 운영하기 위한 비용이다. 시설비는 고정자산에 지출되는 감가상각

비용이며, 운영비는 재료비, 인건비 등 가변요소에 지출되는 비용이다. 그리고 매립으로 인한 직접비는 매립장의 건설비와 이를 운영하기 위한 운영비가 있다.

첫째 시설비에는 재생플랜트의 설치비, 부지조성비, 공장설립비 등이 있으며 매립장은 부지비용, 매립장 건설비와 주민수해사업비, 장래 토지이용 계획에 따른 조성비등이 있다.

그러나 대부분의 재생플랜트는 기존의 신재아스팔트 공장에 재생플랜트를 증설하여 기존시설을 이용하고 있을 뿐만 아니라 설비에 따른 생산능력이 각각 달라 이를 표준화하는 것은 어렵다.

그러므로 본 연구에서는 전국 건설폐기물 공제조합에서 발표한 페아스콘 제조원가 계산서를 기준으로 시설비(감가상각비)와 운영비를 산출하였다. 정부의 폐기물 정책에 따라 설립된 조합이므로 업계의 공표 가격이지만 많은 검정을 거친 자료이므로 관련업계의 평균가격으로 적용하는데는 무리가 없을 것으로 본다. 그리고 매립장의 직접경비산정은 정확한 자료를 필요로 한다. 본 연구에서는 우리나라 최초의 위생매립지로서 비교적 정확한 자료가 많은 수도권 제1매립지를 표준으로 하여 매립비용을 산출하였다. 그리고 운영비의 산출은 환경부 발표를 근거로 산출하였다.

③ 운반비

운반비는 수집된 페아스콘을 재생플랜트시설이 있는 공장이나 매립장으로 운반하는 비용으로 운반차량의 크기, 야적장 및 매립장의 위치, 도로여건과 운반시간대 별로 비용의 차이가 크다. 수집단계에서의 운반비는 수집현장의 위치와 도로여건, 그리고 교통량 등에 따라 현저하게 달라지므로 이를 표준화한다는 것은 대단히 어려운 일이다.

이러한 점을 감안하여 본 연구에서는 대부분의 재생플랜트와 매립장이 위치한 곳이 대도시의 외곽 지점이므로 도심에서 편도 20km 정도로 하였다. 그리고 포장상태가 양호한 왕복 2차선 도로로 주행차량은 일일 평균 2000~7000대 정도로 교통소통이 비교적 양호한 것으로 하였다. 이것은 도심의 도로포장보수공사가 주로 야간에 이루어지고 있음을 감안한다면 표준화에 가깝다 할 수 있겠다. 그리고 재생플랜트와 매립장까지 운반거리는 앞에서 거론한 바와 같이 여러 조건에 따라 달라지므로 본 연구에서는 동일한 조건으로 하였다.

나, 간접비용

① 환경비용

페아스콘의 재활용에 따른 환경비용으로는 재생공정에서 발생하는 분말 아스콘의 발생과 매립장의 침출수 발생으로 주변토양 및 지하수, 하천의 오염과 각종 유독가스를 포함하고 있는 매립가스의 누출이 대표적이다. 또 수집할 때 발생하는 먼지 및 운반 차량에 의해 발생하는 매연 등이 있다.

페아스콘의 매립에 따른 간접비용으로는 환경오염 비용이 가장 크다. 그 외에도 다른 간접비용이 있으나 이들은 무시할 만한 수준이며 계량화도 불가능하다. 그리고 신규자원을 채취하는 과정에서도 오염이 발생한다. 그러나 이 부분에 대한 연구가 부진하여 정확한 자료가 없는 실정이다. 폐기물의 매립에 따른 오염물질의 배출량은 매립장의 종류, 규모, 방지시설의 유무 등에 따라 커다란 차이가 있다. 본 연구에서는 페아스팔트 콘크리트의 매립과정에서 발생하는 환경오염물질에 대한 조사자료가 없어 생활폐기물 매립과정에서 발생하는 환경오염비용을 이용하였다. 그리고 재생과정에서 발생하는 오염비용은 페아스콘 제조원가 계산서에 포함되어 있는 아스콘 분말 처리비로 대체 하였다. 이것은 페아스콘 제조과정에서 발생하는 아스콘 분말은 특정폐기물로서 재생 아스콘 제조업체는 폐기물 처리업체에 위탁하여 처리하고 있다.

<표Ⅲ-2>페아스콘의 처분별 비용추정방법

처분 방법	비용	추 정 방 법
재 활 용	직 접 비	· 수집비용 - 노면절삭기에 의한 수집 비용 · 시설비 - 페아스콘 제조원가 계산서에 의한 비용 · 운영비 - 페아스콘 제조원가 계산서 · 운반비 - 편도 20km, 왕복 2차선, 일일 교통량 2,000~7,000대 정도의 도로조건에서 운반경비 및 기계경비 산정
	간 접 비	· 환경비용 - 페아스콘 제조원가 계산서의 폐기물 처리비
매 립	직 접 비	· 수집비용 - 재활용과 동일 · 시설비 - 수도권 제1 매립지 기준 · 운영비 - 수도권 제1 매립지 기준 · 운반비 - 재활용과 동일
	간 접 비	· 환경비용 - 생활폐기물 매립과정의 환경오염비용 적용

IV. 폐아스콘 재활용의 경제적 효과분석

1. 처분 방법별 비용 산출

1) 재활용

① 수집비용

폐아스콘의 수집은 노면 파쇄기로 노면을 절삭하여 얻는 방법과 브레카에 의한 파쇄 방법이 있다. 각각의 방법은 도로의 파손 상태에 따라 적용 방법이 다르다. 전자는 도로의 기층부분을 손상하지 않고 표층(Surface Course)부분만 절삭하여 보수하는 방법으로 대부분의 도로 보수에 쓰이고 있으며, 현재 폐아스콘 발생량은 브레카에 의한 방법보다 많지 않으나 시공물량의 증가와 재활용 공법의 연구 그리고 장비의 개발이 집중되고 있어서 가까운 장래에 브레카에 의한 방법보다 발생량이 많아지리라 본다. 후자는 도로의 기층(Base Course)부분까지 파쇄하는 방법으로 도로 굴착 공사에 주로 쓰이고 있다. 본 연구에서는 재활용이 비교적 쉽고 장래에 대부분의 폐아스콘 발생량을 점할 노면 절삭 공법을 적용한 수집비용을 산출한다.

<표Ⅳ-1>에서 제시한 바와 같이 폭 2m의 노면 파쇄기 절삭능력은 시간당 20.8톤의 폐아스콘을 생산할 수 있으며, 톤당 생산시간은 0.048시간으로 나타났다. 그리고 폐아스콘의 톤당 수집비(생산비)는 11,873원으로 조사되었다.

◎ 노면 파쇄기의 비용

i 작업능력 산출식 : $Q = w \times v \times t \times E \times rt$

Q : 노면 파쇄기의 시간당 파쇄능력 (m³/hr)

w : 기계의 절삭 폭(2m)

v : 작업속도(절삭 폭 2m 인 경우 200m/hr)

t : 절삭 깊이 (5cm)

E : 작업효율 (0.65) (블록연장이 200m < L < 500m)

rt : 1.6t/m³

$$\therefore Q = 2 \times 200 \times 0.05 \times 0.65 \times 1.6 = 20.8 \text{ ton/hr}$$

$$1/Q = 0.048 \text{ hr/ton}$$

<표IV-1> 노면파쇄기 손료

규격 (m)	내용시 간	연간표준 가동시간	상각 비율	정비 비율	연간관 리비율	시간당(10')			
						상각비 계수	정비비 계수	관리비 계수	계
2	4,500	750	0.9	0.5	0.14	2,000	1,111	1,167	4,278

<표IV-2> 노면절삭기 운전 경비 산정

기계명	규격(m)	주연료(ℓ)	잡품 (주연료비의 %)	조종원(인/일)
노면파쇄기	2.0	52.7	20	1

<표IV-3> 노면 파쇄기의 비용표 ($w = 2.0\text{m}$) (시간당)

구 분	규 격	수 량	단가	금액	비 고
경 유 잡 품	저유황0.1% 주 연료 비의 20%	52.7(ℓ) 10.54(ℓ)	662	34,887.4 6,977.4	34,887×0.2
재료비 소계				41,864	
노 무 비	건설기계 운전 기사	0.208(인)	55,245	11,490.9	
경비	노면 파쇄기	$4,278 \times 10^{-7}$	453,492,000	194,003	360,000\$
합 계				289,223	(원/시간)

자료: 대한건설협회, “종합건설적산” 2001, pp. 656

ii) 폐아스콘 1톤당 수집비는 $(247,357 \times 0.048)$ 11,873원/Ton이다.

② 운반비

운반비는 수집현장에서 재생아스팔트 플랜트와 매립장까지의 운반비로 도심지를 벗어난 지역에 플랜트가 위치해 있거나, 매립장이 있는 관계로 운반거리의 차이가 별로 없어 동일한 것으로 간주하였다. 운반수단은 적재량이 10.5톤인 덤프 트럭(Dump Truck)에 의한 운반으로 하고, 도심과 시외각 도로 모두 왕복 2차선 도로에 일일 교통량은 2,000~7,000대 정도의 도로로 도로의 상태나 교통소통이 비교적 양호한 도로를 선정하였으며, 운반거리는 편도 20km로 산정하고, 적제품목은 노면 파쇄기에 의하여 파쇄된 폐아스콘의 입자가 그리 크지 않으므로 자갈을 적재하는 비용으로 계산하였다. 이를 기준으로 산정한 운반비는 <표Ⅳ-7>에서 제시한 바와 같이 폐아스콘의 1m³당 운반비는 9,765원으로 조사되었으며, 이를 톤당 단가로 환산하면 폐아스콘의 비중을 1.6으로 하였을 때 15,624원으로 조사되었다.

◎ 덤프트럭의 기계경비 산정

i) 시간당 작업량

$$Q = \frac{60 \cdot q \cdot f \cdot E}{Cm} \qquad q = \frac{T}{\gamma_t} \cdot L$$

Q : 1시간당 호트러진 상태의 작업량 (m³/hr)

q : 호트러진 상태의 덤프트럭 1회 적재량 (m³)

γ_t : 자연상태에서의 토석의 단위 중량 (1.6 t/m³)

T : 덤프트럭 적재 중량(10.5ton)

L : 토량 환산계수에서의 토량 변화율

$$L = \frac{\text{호트러진상태의토량(m}^3\text{)}}{\text{자연상태의토량(m}^3\text{)}}$$

f : 토량환산 계수

L 및 f의 값

토질	모래	자갈	잡석	보통토
L	1.1~1.2	1.1~1.2	1.1~1.15	1.15~1.2
f	0.869	0.869	0.888	0.851

E : 작업효율 (0.9)

Cm : 1회 사이클 시간(분)

Cm =T1 +T2 + T3 + T4

T1 :적재시간3분

$$\begin{aligned}
 T2 : 왕복시간 (분) &= \frac{\text{운반거리}}{\text{적재시평균주행속도}} \times \frac{\text{운반거리}}{\text{공차시평균주행거리}} \\
 &= \frac{20}{0.4166} + \frac{20}{0.4166} = 96.02 \\
 &\quad (25\text{km/hr} \div 60\text{분}=0.4166) \\
 &\quad \text{운반거리: 편도 } 20\text{km}
 \end{aligned}$$

평균 주행속도(km/hr)

도 로 상 태	평균속도	
	적 재	공 차
2차선 이상의 시가지 포장도로 (7,000~2,000 대/일)	25	25

T3 : 적하시간(적재한 토량을 내리는데 소요되는 시간으로 차를 기다리는 시간이 포함된다.)

구분 토질	작 업 조 건		
	양 호	보 통	불 량
모래, 역, 호박돌	0.5	0.8	1.1

T4 : 적재장소에 도착한 때로부터 적재작업이 시작될 때까지의
시간적재장소가 넓지는 않으나 목적장소에 불편 없이 진입
할 수 있을 때.....0.42분

$$\therefore C_m = 1.28 + 0.8 + 96.02 + 0.8 + 0.42 = 99.32$$

$$\therefore Q = \frac{60 \cdot q \cdot f \cdot E}{C_m} = \frac{60 \times 7.875 \times 0.869 \times 0.9}{99.32} = 3.721$$

$$\therefore 1/Q = 0.26$$

<표Ⅳ-4> 덤프트럭 손료

규격 (ton)	내용 시간	연간표준 가동시간	상각 비율	정비 비율	연간 관리 비율	시간당(10 ')			
						상각비 계수	정비비 계수	관리비 계수	계
10.5	8,000	2,000	0.9	0.86	0.14	1,125	1,075	464	2,664

<표Ⅳ-5> 덤프트럭 운전경비 산정

기계명	규격 (ton)	주연료 (ℓ)	잡품(주연료의 %)	조종원 (인/일)
덤프트럭	10.5	18.8	44	1

<표Ⅳ-6>덤프트럭 경비산정

구분	규격	수량	단위	단가	금액
경유	저유황유	18.8	ℓ	662	12,445
잡품	주연료비의	44	%		5,476
재료비계					17,921
건설기계 운전기사		0.208	인	54,064	11,245
노무비계					11,245
경비		$2,664 \times 10^{-6}$		31,531,000	8,399
계					37,565

<표Ⅳ-7>폐아스콘 운반 작업경비 (운반거리 20km) <단위: 원>

구분	규격	수량	단위	단가	금액	단위
재료비	10.5ton덤프	0.26	hr	17,921	4,659.4	원
노무비	"	"	"	11,245	2,923.7	원
경비	"	"	"	8,399	2,183.7	원
합계					9,766.8	원/m³

자료 : 대한건설협회, “종합건설직산”, 2001, pp. 561

ii) 폐아스콘 톤당 운반비는 $9,765 \times 1.6 = 15,624$ 원/Ton 이다.

③ 재생비용

재활용의 재생비용은 폐아스콘을 재생플랜트로 운반하여 재생아스팔트 콘크리트를 생산한다. 이때 반입된 폐아스콘을 잘게 파쇄하는 과정과 불순물을 제거하는 공정이 필요하다.

그러나 본 연구에서 적용하고 있는 노면절삭 공법에 의한 폐아스콘은 수집 과정에서 작은 입자로 수집되어 별도의 파쇄비용은 필요하지 않다. 또한 불순물의 제거는 재생아스팔트플랜트에서 재생아스콘이 생산되는 과정에서 제거 할 수 있다. 그러므로 이를 적용하지 않는다

폐아스콘의 재생아스팔트플랜트는 보통 기존의 신재 아스팔트 콘크리트 생산 플랜트에 재생아스팔트 플랜트를 추가로 증설하여 사용하는 것이 대부분이므로 재생 플랜트의 손료와 부지사용료 및 기타경비 등을 분리하여 별도 산출하는 것은 현실적으로 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 관련업계가 공표 한 제조원가 계산서를 분석한 실적원가를 적용하였다. <표Ⅳ-8>에서 보여진 것과 같이 제조원가 계산서에 의한 제조원가는 톤당 16,629원으로 조사되었다. 그리고 제조원가에 포함되어있는 폐기물 처리비 톤당 3,350원은 재생아스콘의 생산과정에서 발생하는 간접비용인 환경비용인 관 계로 이를 공제한다. 환경비용을 공제한 후 폐아스콘의 순 제조원가는 톤당 13,279원이다.

<표Ⅳ-8> 폐아스콘 톤당 재생비용

(단위 : 원)

비 목			구 분	금 액	구성비	비 고
제	재 료 비	직접재료비				
		간접재료비		1,190.48		
		작업설부산물 등				
		소 계		1,190.48	8.31	
조	노 무 비	직접 노무비		3,617.38		직노의 15%
		간접 노무비		542.61		
		소 계		4,159.99	29.04	
원	경 비	전력비		224.06		
		감가상각비		2,38.95		
		수리수선비		27.60		
		지급임차료		1,616.75		
		보험료		262.86		
		복리후생비		272.51		
		소모품비		204.37		
		여비교통통신비		147.95		
		세금공과금		247.42		
		폐기물처리비		3,350.00		
		도서인쇄비		43.88		
		지급수수료		192.00		
		소 계		8,972.35	62.64	
제 조 원 가				14,322.28	100.00	
일반관리비(10%)				1,432.28		
이 윤(6%)				859.34		
총 원 가				16,613.90		Ton 당 단가

자료 : 사) 한국건설폐기물처리 공제조합, 건설폐기물 톤당 처리단가, 2000

2) 매립

폐아스콘을 매립하는 과정에서 필요한 수집비용과 운반경비는 재활용에서의 경비와 동일하므로 이를 원용하고 매립처분에서 필요한 매립비용과 환경오염 비용을 산출하였다.

① 매립 비용

매립비용은 매립지의 규모와 매립지의 위치 (해안, 산지, 평야), 매립형태, 그리고 민원에 의한 주민지원사업비 등 조성비와 매립지의 운영비에 따라 많은 차이가 있다. 1999년말 현재 수도권 매립량은 약7,980천톤으로 조사되었다. 톤당 매립비용은 수도권매립지가 33,370원이고, 전국평균은 18,875원으로 조사되었으며, 1999년도 연간운영비 총액은 인건비, 매립·복토비, 침출수 처리비, 주민지원사업비 등을 합해 모두 252,472백만원이 지출된 것으로 집계되었고 운영비 중 수도권매립지가 166,449백만원으로 톤당 20,858원으로 나타났다.⁷⁾

<표Ⅳ -9> 수도권 매립비용

(단위 : 원)

구 분	매립비용	운영비	계
Ton당 단가	33,370	20,858	54,228

※ 수도권 매립지 (3공구)의 건설폐기물 반입료는 14,470원임
(환경부, 2000 환경백서)

② 환경비용

폐아스콘의 매립과정에서 발생하는 오염물질에 대해 조사된 자료가 없어 생활폐기물 매립과정에서 발생하는 환경오염비용을 원용하여 사용하였다. 자원채취과정에서의 오염은 현재 조사 자료를 얻기 곤란하여 제외하며 폐아스콘의 재생과정에 발생하는 오염비용은 <표Ⅳ 10>에서 제시한 바와 같다.

7) 고재영, “우리나라 폐기물매립시설 관리현황 및 향후 추진계획”, 환경부, 2000

<표Ⅳ-10> 매립과정에서의 환경오염비용

(단위: 원/Ton)

오염물질	오염비용
Arsenic	5,095
Barium	812
Cadmium	206
Lead	1,606
Manganese	1,893
Nickel	1,113
Selenium	36
Vanadium	283
Zinc	247
Acetone	5,123
2-Butanone	18,532
p-Cresol	6,896
1,2-Dichloroethylene	32
Diethyl phthalate	1
4-Methyl-2-pentanone	382
Methylene chloride	80
Phenol	130
Toluene	277
1,2,3-Trichloropropane	709
합 계	42,744

자료: 자원재생공사, 재활용 품목별 경제성 평가연구, 1997

2. 폐아스콘 재활용의 경제적 효과 분석

지금까지는 폐아스콘의 재활용과 매립에 따른 비용을 항목별로 산출하였다. 이러한 항목별 비용을 산출한 자료를 활용하여 국내 전체의 폐아스콘 발생량을 기준으로 폐아스콘의 재활용이 가져오는 경제적 이익을 살펴

보면 다음과 같다.

폐아스콘의 항목별 비용을 근거로 하여 폐아스콘을 재활용과 매립간의 비용을 살펴보기로 한다. <표Ⅳ-11>에서 나타난 것과 같이 처분방법별 비용의 차이를 살펴보면 재활용에 소요되는 비용은 톤당 44,125원으로 매립 처분 했을 경우에 소요되는 비용 톤당 124,469원보다 4.5배정도 비용이 적게들어 재활용이 매립처분 보다 훨씬 유리한 것으로 나타났다.

또한 <표Ⅳ-11>에 의하여 산출된 금액을 기준으로 현재 우리나라 전체의 폐아스콘 발생량을 기준으로 비용을 산출하면 2000년 말 현재 우리나라의 폐아스콘 발생량이 약410만 톤이므로 이를 기준으로 하였을 때 재활용에 소요되는 비용은 112,737백만 원이며, 매립처분에 소요되는 비용은 510,322백만 원이 된다.

그러므로 폐아스콘의 재활용이 매립처분보다 397,585백만원의 경제적 이익을 가져오는 것으로 조사되었다.

<표Ⅳ-11> 폐아스콘의 처분 방법별 소요 비용 비교

(단위 : 원/Ton)

	종 류	종 목	재 활 용	매 립	비 고
비 용	직접비용	수집비용	11,873	11,873	
		운 반 비	15,624	15,624	
		재생비용 매립비용	13,279	54,228	
	간접비용	환경비용	3,329	42,744	
	소계		44,125	124,469	

V. 결 론

1. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 폐아스콘의 폐기물 처리가 환경분야의 주요 이슈로 자리잡은 요즈음 그 처리방법과 처리비용의 부담이 새로운 문제가 되고 있음이 사실이다. 점점 줄어들고 있는 골재의 부존량이나 사용 가능한 매립지의 용량을 살펴보면 폐기물의 재활용이 절실한 실정이다. 더구나 폐아스콘은 매립장을 차지하는 비율이 생활폐기물보다 훨씬 높을 뿐만 아니라 다른 건설폐기물에 비하여 처리방법이 매립과 재활용이라는 두 가지 방법뿐이므로 재활용을 선택할 수밖에 없다.

지금까지 국내의 아스콘 제조업체는 소규모로, 지역적 한계를 벗어나지 못하고 있을 뿐만 아니라 자본과 인력의 부족 등으로 그동안 폐아스콘 재활용에 대한 필요성은 인식하고 있었으나 연구 개발에 투자할 여력이 없는 실정이다. 정부 또한 지금까지 이러한 문제에 무관심하였으나, 사회적 NIMBY(Not In My Back Yard) 현상으로 폐기물 매립장 확보가 곤란한 최근에서야 관심을 가지고 정책을 펴고 있다.

그러나 기술이 개발되고 그 기술이 경제성을 확보하는데는 많은 시간과 비용이 소요된다. 최근에 국내 몇몇 기업이 선진국에서 기술을 도입하여 재생용 플랜트와 공법을 개발하였다. 그러나, 이것은 국토가 좁고 산악지역이 많아 도로의 여건이 열악할 뿐만 아니라 낮은 도로율과 도로의 파손율이 선진국에 비하여 매우 높은 국내 여건에서는 아직도 검토 단계에 있는 실정이다.

최근 정부에서는 폐아스콘 재활용의 활성화를 위하여 도로 포장공사에 일정량의 재생아스팔트를 쓰게 하는 정책을 펴고 있으며, 최근 서울시는 폐아스콘의 전량을 재활용하기로 하는 등 노력을 기울이고 있으나 절대다수를 차지하는 지방자치 단체의 동기유발이 매우 필요한 실정이다.

본 논문은 이러한 현실적인 문제점을 해결하고 폐아스콘의 재활용이 가져다 줄 경제적 기대효과를 분석하여 폐아스콘의 재활용을 극대화함에 연구의 목적이 있다.

앞에서 아스팔트 포장의 재생공법 현황, 특성 및 적용성, 공용성, 경제성 등에 대해서 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 1970년대 오일쇼크 이후 아스팔트의 가격상승으로 포장공사비가 급증하여 세계 각 국에서 아스팔트 포장 재생공법을 활발하게 적용해오고 있으며, 특히 미국에서는 각종의 도로관련단체의 연구활동과 아울러서 재활용에 관한 법규의 제정을 통하여 아스팔트 포장의 재활용을 적극적으로 권장하고 있다.

둘째 아스팔트 포장을 재활용함으로써 얻을 수 있는 이점은 경제적, 환경적, 자원 보존의 측면에서 평가할 수 있으며 이들을 열거하면 포장공사비의 인하로

국가예산의 절감, 폐기물 처리비 절감, 환경오염 문제의 해소, 천연자원의 보존 그리고 에너지의 절감 등을 들 수 있다.

셋째 국내의 폐아스콘 발생량은 연간 약 400만 톤에 달하고 있으며, 이 중에서 극히 일부분이 재활용에 쓰이고 있고 나머지는 폐기물 매립지에 매립하거나 야적, 불법매립 등의 방법으로 처분되고 있어 심각한 환경오염을 유발시키고 있을 뿐 아니라 자원이 부족한 우리의 실정으로서 시급히 재활용이 필요하다.

넷째 아스팔트 포장의 재생공법에는 Cold Planing, Hot In-Place Recycling, Cold In-Place Recycling, Full Depth Recycling의 5가지 공법이 있으며, 이들 공법은 포장의 결함 상태에 따라 각각 적용방법과 사용장비가 다르다. 그러므로 포장의 결함 상태를 면밀히 분석하여 신중한 공법적용이 요구된다.

다섯째 재생아스팔트에 대한 많은 연구와 노력으로 재생아스팔트의 성능이 신재아스팔트 성능과 같거나 오히려 우수한 부분도 나타나고 있으며, 공용성에 있어서도 매우 양호한 것으로 나타나 도로포장재로써 재생아스팔트의 사용에는 문제점이 없는 것으로 나타났다.

여섯째 세계의 주요 선진국들은 오래 전부터 폐아스콘의 재활용을 연구하여 왔으며 미국은 대부분의 주에서 적정량의 재활용 공법을 사용하고 있으며 유럽의 각국은 자원의 부족과 환경에 대한 높은 인식으로 이미 100% 재활용율을 기록하고 있는 나라도 있다. 아시아는 일본을 제외하고 아직 개발의 단계를 넘어서지 못하고 있는 상태이다.

일곱째 폐아스콘의 경제적 효과 분석은 자원의 절약과 환경오염 방지라

는 재활용의 목적을 달성하기 위하여 반드시 검토되어야 할 사항이다. 폐아스콘의 경제적 효과는 재활용 율에 따라 다르게 나타나지만 본 연구에서 재활용이 매립보다 약4.5배정도의 비용절감이 있는 것으로 나타났다.

2. 한계점

현재 우리나라의 여러 가지 경제적 여건을 고려하면 도로의 포장 및 유지관리를 위한 예산을 충분하게 확보하기가 어려운 실정이다. 또한 도로 포장재료비의 지속적인 상승으로 인하여 도로포장 공사에 소요되는 비용이 해마다 증가하고 있어 경제적인 포장 공법을 강구해야 할 필요성이 제기되고 있다. 또한 폐아스콘의 처분에 따른 비용이 해마다 증가하고 있고, 환경오염에 따른 여러 가지 문제점을 안고 있어 폐아스콘의 재활용에 적극적으로 나서야 할 때이다. 본 연구를 수행함에 있어서 우리나라의 환경에 대한 자료의 부족과 부정확함을 절감하였다. 이는 그동안 환경에 대한 인식 부족으로 이들 데이터를 통합하고 분석하는 연구가 부족하였음을 말해주고 있으며, 특히 지자체의 자료 통합이 빨리 이루어지길 기대한다.

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 수집한 자료들의 한계로 비용분석만 하였고 편익분석을 하지 못하여, 연구의 목적을 일반화시키는데 다소 한계가 있음을 밝혀 두고자 한다

참고문헌

I. 국내문헌

1. 건설교통부, 『건설폐기물의 재활용 및 처리기술 개발』, 1999.
2. 건설교통부a, 『아스팔트 포장 설계·시공요령』, 1997.
3. 건설교통부b, 『건설폐기물 처리 및 재활용 지침』, 1997.
4. 건설교통부, 『건설현장 쓰레기 관리기법』, 1995.
5. 건설교통부 국립건설시험소, “폐아스팔트 혼합물의 재활용 방안조사”, 1997.
6. 김광우 외 9인, “폐콘크리트 및 아스팔트를 재활용한 농어촌 도로포장 공법의 개발”, 농림수산부 연구보고서, 강원대학교, 1995.
7. 김광우·정규동·도영수, “기층재료로 재활용 아스팔트 혼합물의 적용성 연구”, 대한토목학회 논문집(제18권 III-1호), 1998, pp. 61-68.
8. 김광우·이순제·이상범·이지용, “개질·재생 아스팔트 혼합물의 피로 저항 특성”, 대한토목학회논문집(제20권 2-D호), 2000, pp. 149-157.
9. 김광우·정규동·조희원·이상범, “폐아스팔트 재활용 포장재료의 특성에 관한 연구”, 한국농공학회 학술발표회 논문집, 1996, pp. 136-141.
10. 김광우·류능환·최영규, “폐콘크리트를 재활용한 소도로 포장에 관한 연구”, 한국농공학회지(제38권 제4호), 1996, pp. 137-146.
11. 김광우·박태순, “아스팔트 포장의 재활용”, 한국도로포장공학회(제2권 4호), 2000, pp. 4-12.
12. 김광우·정규동·조희원·이상범, “폐아스팔트 포장재료를 재활용한 농촌도로 시험포장의 특성에 관한 연구”, 한국농공학회 학술발표회 논문집, 1997, pp.93-98.
13. 김광우·이순제·도영수·이상범·오성균, “국내 아스팔트 콘크리트의 재활용 연구동향”, 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄 논문집, 2000.
14. 부경대학교 산업과학기술연구소, 『폐아스팔트 재활용기술에 관한 연구용역 보고서』, 1999.

15. 박주현 『환경경제학』, 경문사, 2000
16. 송경수 · 허갑수 · 김용호, “부산지역 골재도매업의 경영현황에 관한 연구”, 지산대학 논문집(제17집), 1999, pp. 343-372.
17. 아스팔트 포장연구회 역, 『아스팔트 포장공학원론』, 한국도로포장공학회, 1999, pp. 432-439.
18. 이관호, “국내 아스팔트 포장의 재활용 사례”, 한국도로포장공학회(제2권 4호), 2000., pp. 20-29
19. 이정전, 『환경경제학』, 박영사, 2001
20. 한국건자재시험연구원, “폐아스팔트의 환경친화적 재활용 방안 연구”, 국립기술품질원, 1998.
21. 한국자원재생공사, 『건설폐기물 재활용 가이드라인 설정 및 재활용 촉진 방안』, 1995.
22. 홍정식, “폐아스팔트 재활용을 위한 재생 배합설계 연구”, 경기대학교 산업정보대학원 석사학위 논문, 2000.
23. 환경부, 『환경부 고시 및 보도자료』, 2000.
24. 환경부, 『2000 환경백서』, 2000
25. 천병식, 고용일, 『도로공학』, 도서출판 새론, 1998

II. 국외문헌

1. Coons, R. F., and Wright, P. H., "An Investigation of the Hardening of Asphalt Recovered from Pavements of Various Ages", Proceedings of AAPT, Vol. 37, 1968, pp. 510-528.
2. Elton, R., "Evaluation of Prospectives of Recycled Asphalt Concrete" Hot 11. Hicks, G. R. and Rogge, D. F., States Gain Cold-Cash Saving Using Cold in-Place Recycling. Roads & Bridges, October, 1995.
3. James, E., "Hot In-Place Recycling of Asphalt Pavement", Technical Report GL-90-22, 1990.
4. Pavement Recycling Executive Summary and Report, Report FHWA-SA-95-060, FHWA, U.S Department of Transportation, 1995.
5. Prithvi, S., "Performance of Recycled Hot Mix Asphalt Mixtures in State of Georgia", Transportation Research Board No. 95-0241, 1995.
6. Rogge, D. F., Hicks, R. G., and Scholz, T. V., "In-Depth Study of Cold In-Place Recycled Pavement Performance" Volumes I, II FHWA-OR-RD-91-02A Dec. 1990.

A Study on the Economic Benefits Analysis of Waste Asphalt Concrete Recycling

Lee, Sang Doo

*Department of Small Business Administration
Graduate School of Business Administration
Pukyong National University*

ABSTRACT

This study analyzes the economic benefits of the methods for recycling asphalt pavement. Due to the lack of environmental awareness and studies on asphalt recycling, millions of tons of asphalt wastes mostly generated in the process of repairing asphalt pavements every year are carried to the landfill or piled up outdoors, resulting in an enormous environmental pollution and economic losses.

This study suggests that the fundamental measures for the current situation is to promote the recycling of asphalt pavement nationwide by emphasizing its economic benefits. Foreign and domestic research materials and press releases on the issue were studied for the conclusions.

The conclusions of this study are as follows.

First, through a number of experiments and researches, the reclaimed asphalt pavements have been proved to be as good or even better than new ones. Therefore, in the advanced countries, the reuse of reclaimed asphalt pavement is very common while it is not the case with Korea where most of the removed pavements are used for ground soils and only a fraction for repaving the roads.

Second, the most appropriate recycling method should be selected after examining several methods in terms of economic efficiency because the effect of each method depends on the degree of breakages and structural problems in the old pavements.

Third, the economic benefits of reusing the reclaimed asphalt pavements include the reduction of budget and costs for environmental protection and landfill sites.

Lastly, the corporate benefits of reusing the reclaimed asphalt pavements include tax break and governmental subsidies as part of the administrative promoting measures for environmental industry.

Consequently, more aggressive governmental measures are needed for promoting the reuse of reclaimed asphalt pavements. Companies also should adapt themselves to this environment-friendly trend.