

분리공정 개선을 위한 설계 가이드 우선순위 결정방법론

목학수[†]·이재성·조종래

부산대학교 산업공학과

A Study on Deciding Priority of Optimal Design Guide for Disassembly Process

Hak-soo Mok · Jae-sung Lee · Jong-Rae Cho

Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735

This study presents the decision of priority for optimal design guide to improve disassembly process. Disassembly process is divided into recognition, transfer and disassembly of assembly point and recognition, transfer and remove of grasp point. Significant influential factors are derived from analyzing the above process. And those factors are used for making the check list to evaluate the properties of parts in each process. Furthermore, the weight with considering disassembly process is also used to determine weight of each process. On the base of the above sequence, qualitative score of disassemblability of each process that is enabled to compare different disassembly processes can be acquired. Ultimately the score helps to decide the priority of design guide for disassembly process.

Keywords: disassembly process, guideline for disassembly

1. 서론

오늘날 세계적인 문제로 대두되고 있는 환경문제와 재활용 문제는 산업차원에서뿐만 아니라 가정, 공공기관까지 점차 그 범위가 확대되고 있다. 이미 EU는 폐차 규정에서 2006년까지 85%의 재활용률을 목표로 규제하고 있으며, 2015년에는 95%의 폐차 리사이클을 목표로 제시하여 법안으로 통과하였다(Herbert, 1995). 또한 자동차의 고철비율은 2000년대를 넘어서면서 60% 이하로 떨어지고 알루미늄과 플라스틱의 비율이 각각 7%와 15%로 점차 높아져 단순한 소재의 재활용을 넘어서 자동차의 분리와 재활용에 관한 체계적인 연구가 필요하게 되었다(목학수 외, 2003). 이러한 필요에 따라 자동차의 분리에 관한 많은 연구가 이루어졌으며, 분리에 관한 많은 설계 원칙들이 제공되어 졌다. 이러한 설계원칙들은 자동차뿐만 아니라 가전제품 등 중, 대형 제품의 분리에 이용될 수 있으며, 분리작업의 효율을 높여, 분리시간과 분리비용을 단축할 수 있게 한다. 하지만 이러한 설계원칙들은 일반적으로 제시되어

있는 경우가 많아서 어떤 설계원칙을 우선적으로 적용해야 할지 모르는 경우가 많다. 본 연구에서는 제품의 분리와 재활용을 향상을 위해 설계자에게 보다 실제적인 설계 가이드를 제시하기 위해, 제시된 설계원칙들 중 주어진 상황에 맞게 우선순위를 부여함으로써 설계자에게 제시된 설계 가이드의 이해를 빠르게 하고, 적용이 용이하게 하는 데 있다.

주어진 설계원칙에 대해 우선순위를 정하는 방법은 AHP 방법이 가장 많이 알려져 있다. T.L Saaty에 의해 개발된 AHP 모형은(Saaty, 1986) 기술대안의 평가문제를 검토할 때, 다수의 대안, 평가계층의 체계화, 정성적인 측면에서의 평가요소를 고려하며, 이들을 정량화하는 체계적인 종합화 과정 등이 포함된 평가모형으로 개발되어 폭넓게 활용되고 있다. 또한 평가자의 직관적이고 합리적인 판단을 동시에 고려하면서도 포괄적인 문제해결의 틀을 제공해 주며, 이 모형은 이론의 명확성, 적용의 간편성 및 대상의 범용성이라는 특징으로 다양한 의사결정분야에서 널리 적용되고 있다(조근태, 2002). 하지만 많은 장점에도 불구하고 몇몇 논문에서는 그 문제점을 지적하

[†] 연락처 : 목학수 교수, 609-735 부산시 금정구 장전동 30 부산대학교 산업공학과, Fax : 051-512-7603, E-mail : hsmok@pusan.ac.kr
2004년 1월 17일 접수, 2회 수정 후 2004년 10월 14일 게재 확정.

고 있다. 가중치 결정에 대한 전문가의 의견을 분석하기 위해서는 모든 전문가의 각 분야에 대한 전문성 정도를 고려해야 하며(김성철, 어하준, 1994), Saaty는 AHP 기법을 소개하면서 개인의 욕구(needs)와 욕망(desires)이 신념(beliefs)으로 형성되고 이를 유지하려는 경향인 동기적 편기(motivational bias)와 잠재적으로 사용 가능한 모든 정보를 획득하고 처리할 능력의 제한으로 인해서 발생한다고 하는 인지적 편기(cognitive bias)와 같은 계통적 오류(systematic error)를 해결할 방안으로 일관성을 사용하였는데, 이런 두 가지의 오류로 인하여 체계적 오류가 초래된다(윤재곤, 1996). 계층분석구조가 다단계로 구성되어 있거나 쌍비교하여야 하는 대안의 수가 많은 경우에는 쌍비교 횟수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 규모가 큰 다기준 의사결정 문제를 해결하기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하며, 평가자들이 전문지식과 경험부족으로 평가가 불가능한 경우도 있는데, 이럴 경우 쌍비교 행렬의 모든 항에 대한 평가를 하는 대신에 평가자가 자신이 있는 항목만 평가하고 이들 값을 이용하여 나머지 항목들의 근사값을 계산하는 방법을 제안하였다(Harker, 1987).

1.1 연구동향

국내에서는 “자원절약과 재활용 촉진 법률” 및 폐기물 발생에 대한 환경부담금 및 예치금 제도를 시행하여 제품생산업체의 참여를 유도하고 있으며, 한국 자동차 공업협회(KAMA)를 중심으로 “자동차 재활용 실무 위원회”를 구성하고 한국 폐차협회, 플라스틱 재활용협회 등 재활용협회와 산업체의 참여아래 “자동차 재활용 촉진 협의회”를 구성하여 재활용 활성화 및 공동연구에 힘쓰고 있다.

또한 국내 자동차 업계에서도 자체 연구소에서 재활용에 관

표 1. 연구배경

연구기관		연구내용
독일	WZL, RWTH Aachen	• Recycling을 위한 Design
	IWF Berlin Univ.	• 자원재활용을 위한 분리구조 설계
	IWO Munchen Univ.	• 분리를 위한 제품구조연구
미국	Boothroyd Dewhurst Inc.	• DFE(Design For Environment) • DFD(Design For Disassembly)
유럽	EUCAR	• 재활용 설계기술, Plastic 자동차분리기술
일본	TP Management	• 제품분리 용이성 점수평가 • 대선안 검색

한 연구를 수행하고 있으며, LG전자와 삼성전자 등 가전업계에서도 환경친화적 제품개발 연구와 관련하여 조립, 분리, 재활용에 관한 연구가 수행중이다.

외국의 경우 미국과 EU를 중심으로 자원재활용과 분리기술에 관한 연구가 이루어졌고, 미국은 수십 년 동안 대량의 폐자동차 처리경험과 재활용을 위한 기반이 구축되어 있으며, 플라스틱 부품에 관한 재활용연구가 진행되었다. EU는 독일, 프랑스를 중심으로 80년대 후반부터 폐자동차의 환경친화적 처리를 위해 학계와 기업연구소에서 많은 연구를 수행하였고, 최근 EU 전체의 폐차 처리방안을 마련하고 2000년부터 본격적인 규제를 위해 각 국가별로 관련 법규 정비 등 세부사항의 준비가 진행되고 있다.

<표 1>은 외국 회사 및 연구소에서 이루어지고 있는 재활용과 분리 관련 연구동향을 보여주고 있다.

현재의 분리공정의 대부분은 수작업으로 이루어지고 있다. 그러나 분리의 필요성이 대두되면서 분리의 전략적 추세는 <표 2>에서와 같이 재활용과 수명주기 디자인, 그리고 분리기술로 구분할 수 있다. 먼저 재활용 측면에서는 소재의 플라스틱, 혼합물에 대한 재활용, 소재의 양립성에 대한 전략적 기술과 수명주기 디자인단계의 제품 수명주기를 결정하기 위한 DB와 CAD의 통합에 근거한 도구를 이용하여 제품수명 주기를 평가하고 있다. 또한 자동분리를 위한 도구들과 장비기계의 개발에도 힘을 기울이고 있다.

표 2. 분리의 전략적 추세

분리의 전략적 추세			
구 분	재활용	제품 주기 디자인	분리기술
문제점 및 개발사항	<ul style="list-style-type: none"> • 소재의 플라스틱, 혼합물에 대한 재활용 • 소재인식과 분류 • 소재의 양립성에 관한 기준 	<ul style="list-style-type: none"> • 제품 재활용, 제품 수명주기 설계에 관한 고려 • Dbase와 CAD의 통합에 근거한 제품 수명주기 평가 Tools • Logistic support를 위한 의사결정 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 분리를 위한 tools, 장비, 기계의 개발

2. 분리작업의 공정별 분류

세부설계원칙의 순서를 결정하기 위해서 분리작업을 분리순서에 따라 <표 3>과 같이 체결점 파악, 체결점 이동, 체결점 분리, 잠힘점 파악, 잠힘점 이동, 들어냄 등 6개의 세부 공정으로 나누고 각 공정이 분리작업에 얼마만큼 영향을 주는지 가중치

표 3. 우선순위 결정을 위한 세부분리 용이성 요소

	체결점확인	체결점 이동	체결점 분리	잡힘점 파악	잡힘점 이동	들어냄	
	체결점 파악 용이성	접근 용이성	해체 용이성	잡힘점 파악 용이성	접근 용이성	분리 구조성	취급 용이성
정의	대상 고정후 분리하려는 대상의 체결 방법을 인식하고 체결점을 쉽게 알아낼 수 있는 성질	분리력을 작용할 부위에 분리 tool을 쉽게 이동하여 분리력을 전달할 수 있도록 접근시킬 수 있는 정도	조립된 부위에 분리력을 가하여 체결력을 제거하기 쉬운 정도	체결력을 제거한 후 부품을 제거하기 위해 잡힘점을 쉽게 알아낼 수 있는 성질	분리력을 작용할 부위에 분리 tool을 쉽게 이동하여 분리력을 전달할 수 있도록 접근시킬 수 있는 정도	분리 작업을 수행하기 위해 다른 부품과의 간섭, 놓여짐 등 선행해야 할 부품의 상태	분리력을 작용하기 전, 후로 분리될 조립군, 제품이나 분리된 부품들을 다루기 용이한 정도
영향 요소	<ul style="list-style-type: none"> • 색상 • 분리정보 • 시각성 • 부품형상 • 구조적 복잡성 	<ul style="list-style-type: none"> • 이동영역 • 경로 부품특성 • 시각성 • 접근방향 변경 수 • 구조적 복잡성 • 부품 간 간섭 	<ul style="list-style-type: none"> • 부품 고정성 • 영구/비영구 • 분리력 • 분리방향 • 작업영역 • 체결 요소 수 • 체결점 수 	<ul style="list-style-type: none"> • 잡힘정보 • 시각성 • 부품특성 • 접촉상태 • 부품크기 	<ul style="list-style-type: none"> • 이동영역 • 부품특성 • 시각성 • 접근방향 변경 수 • 제품구조 • 부품간 간섭 • 공정 위험도 	<ul style="list-style-type: none"> • 사전 해체 부품 수 • 배치상태 • 연결 부품수 • 시각성 	<ul style="list-style-type: none"> • 유해성 • 무게 • 표준화 유무 • 소재 및 강도 • 부품형상 • 작업영역 • 취급기구

산정을 통해 각 공정의 중요도를 파악하였다. 이것은 세부설계원칙이 각 분리공정에 어떤 영향을 끼치는지를 파악하기 위함이다. 분리작업을 6개의 공정으로 분류한 것은 용이성 별로 분류한 기존의 방법에서 작업자의 분리작업 행동순서에 따라 새로 정의한 것으로, 보다 많은 영향요소를 포함하고 분리작업을 보다 쉽고 명확하게 설명할 수 있다. 또한 접근 용이성처럼 한번 고려하던 것을 체결점 이동과 잡힘점 이동 모두 고려해 줄 수 있으므로 보다 좋은 결과를 도출할 수 있다. 분리작업의 순서에 따라 공정순서를 정의하면, 대상 고정 후 분리하려는 대상의 체결 방법을 인식하고 체결점을 쉽게 알아내는 과정까지의 체결점 확인, 분리력을 작용할 부위에 분리도구나 작업자의 손 등이 쉽게 이동하여 분리력을 전달할 수 있도록 접근하는 것까지의 체결점 이동, 조립된 부위에 분리력을 가하여 체결력을 제거하는 것까지의 체결력 분리, 체결력을 제거한 후 부품을 제거하기 위해 잡힘점을 알아내는 것까지의 잡힘점 파악, 체결력이 제거된 상태의 부품을 들어내기 위해 잡힘점으로 이동하는 것까지의 잡힘점 이동, 분리작업을 수행하기 위해 다른 부품과의 간섭, 놓여짐 등 분리 전 선행해야 할 부품의 상태와 부품을 들어내기 위해 부품 취급에 관한 것에 관한 들어냄 등 6가지로 분류하였다.

3. 공정별 세부영향요소 결정

각각의 영향요소마다 2~3가지의 등급을 가지고 있는데 등급이 높을수록 분리작업이 용이하고 분리시간도 적게 든다. 등급점은 5점(good), 3점(not bad), 1점(bad)의 세 단계로 분류하여

나타내었다. 2등급으로 나눈 경우는 5(good), 1(bad)로 누었는데, 이것은 해당 영향요소의 유무에 따라서 작업의 난이도가 많이 달라질 경우로, 색상은 시각성보다 한 등급 낮아지면 더 많은 어려움이 증가한다는 것을 의미한다.

3.1 체결점 확인공정에서의 세부영향요소

부품을 분리하기 위해서 가장 먼저 해야 할 공정으로 체결점이 어디인지를 확인하고 어떤 체결요소로 체결되어 있는지 파악해야 한다. 체결점을 쉽게 파악할 수 없다면, 작업시간이 길어지고 작업자의 작업 난이도가 높아진다. 또한 분리도구나 접근 방향 등 분리작업의 정보를 알 수 없으므로 이후 공정에 영향을 미치게 된다. 체결점 확인공정의 세부영향요소는 <표 4>와 같이 색상, 분리정보, 시각성, 형상, 제품구조 등 5가지로 나타내었다.

색상은 체결부위나 특정부분이 다른 부위가 색상차이를 두어 구별이 쉽게 되었을 경우 1등급을 주며, 분리에 관한 정보가 있으면 체결점을 쉽게 파악할 수 있다. 시각성은 분리하고자 하는 부품의 분리점의 보이는 정도를 나타내며 부품의 개방성(open)과 체결점을 볼 수 있는 가시범위(visual limits for joining point)의 관계에 의해 결정된다. 시각성의 등급은 좋음과 보통, 나쁨의 세 가지로 나누었으며, 부품의 개방이 완전개방(full open)이면 좋으므로, 부분 완전개방(partial open)의 경우에는 보통으로, 제한된 개방이면 나쁨으로 분류하였다. 또한 체결점의 가시범위는 위에서 체결점을 보았을 때 가시범위가 90도 이상이면 시각성이 좋다고 정의하며, 가시범위가 90도 이하이면 나쁘다고 정의하여, 부분개방이면서 체결점의 가시범위가 넓은 경우는 보통으로, 부

분개방이면서 체결점의 가시범위가 좁거나, 제약된 부분개방이면서 가시범위가 좁은 경우에는 시각성이 나쁘다고 정의한다.

표 4. 체결요소 인식을 위한 세부영향요소

	영향요소	등급		
		1	2	3
체결점 파악용이성	색상	체결부위가 색상으로 구별 됨		구 별 되 지 않음
		5		1
	분리정보	있음		없음
		5		1
	시각성	높음	중간	낮음
		5	3	1
형상	파악이 쉬움	중간	파악이 어려움	
	5	3	1	
제품구조	간단함		복잡함	
	5		1	

<그림 1>과 같이 시각성이 좋으면 1등급으로 5점, 부분적인 개방으로 시각성이 보통이면 2등급으로 3점, 제한된 개방으로 시각성이 나쁘면 3등급으로 1점을 준다. 부품의 형상은 부품의 대칭성으로 판단한다. 대칭성은 α -대칭성과 β -대칭성으로 분류하여, α -대칭성은 삽입축에 직각을 이루는 방향으로 회전하여 삽입위치로까지 회전한 각을 말하며, β -대칭성은 삽입축을 회전각으로 하여 삽입위치로까지 회전한 각을 말한다. 일반적으로 대칭성은 이 두 가지로 정의된다. 등급은 <그림 2>와 같이 3등급으로 구분하였다. 각과 각의 합이 270도보다 같거나 작으면 등급 1이 되고, 각과 각의 합이 270도보다는 크고 450도 보다는 작으면 등급 2가 되며, 450도 보다 크면 등급 3이 된다. 제품구조는 제품구조상의 특징으로 부품의 형상이 대칭이고 위치결정에 도움을 주는 요소가 존재하면 체결점 파악이 쉬우며, 다른 부품과의 연계성을 가지거나 정렬의 어려움 등 구조적으로 복잡하면 체결점을 파악하기 어렵다.

	시각성	그림	설명
중음	완전 개방		체결점에 대한 시각적인 제약이 거의 없음
			$A \geq 90^\circ$ or $B \geq 90^\circ$
	부분적인 개방		수평방향이나 사선방향의 시각적인 개방 영역이 $\geq 180^\circ$
		$- A < 90^\circ$ and $B < 90^\circ$ $- C, D \leq 90^\circ$	
나쁨	제한된 개방		체결점에 대한 시각성이 제한되어 있음

그림 1. 시각성의 등급.

α -대칭성	0°	90°	180°		
β -대칭성	0°	90°	0°	90°	180°
부품 형상					
α -대칭성	360°				
β -대칭성	0°	90°	180°	360°	
부품 형상					

그림 2. 형상요소의 등급.

3.2 체결점 이동공정에서의 세부영향요소

체결점을 파악한 후 체결점 분리를 위해 분리력을 작용할 부위까지 손이나, 분리 tool 등이 쉽게 이동할 수 있는 정도를 나타낸다. 체결점 이동의 세부요소는 체결점에서의 이동으로부터 분리점까지의 이동으로 정의한다. 분리도구를 접근시킬 이동영역이 충분하면 접근성이 향상되며, 이것은 분리도구의 크기와 이동영역 사이의 관계로 시각성 등이 확보되더라도 해당 분리도구가 체결점으로 접근할 수 없다면 접근하기 위한 부공정이 필요하므로 체결점 이동이 어려워지게 된다. 해당 분리도구의 접근이 가능해 이동영역이 충분하면 1등급 5점, 시각성이 확보되지만, 분리도구의 접근이 불가능하면 2등급 3점, 시각성이 확보되지 않고, 분리도구의 접근이 불가능하면 3등급 1점을 준다.

경로부품특성은 체결점으로 접근하기까지 접근경로에 있는 부품들이 깨어지기 쉽거나 파손되기 쉬운 특성으로, 이러한 특성을 가지고 있으면 접근에 많은 주의와 시간이 소요된다. 경로상의 부품들이 단단하여 파손될 우려가 없어 별 주의 없이 접근 가능하면 1등급 5점, 경로상의 부품들이 플라스틱, 고무 등으로 되어 있거나 호스, 전선 등이 연결되어 있어 주의가 필요하면 2등급 3점, 경로상의 부품들이 플라스틱, 고무 등으로 되어 있거나 호스, 전선 등이 연결되어 있고 날카로운 부분 등 접근상에 유해성이 있어 많은 주의가 필요하면 3등급 1점을 준다.

시각성은 접근 시 체결점의 시각성과 접근경로의 보이는 정도를 나타내며, 점수는 체결점 확인의 시각성 등급분류기준과 동일하다. 접근방향 변경 수는 체결점까지 접근하기 위해서 손이나 분리도구 등의 접근방향을 변경하는 횟수로, 접근방향을 변경하는 횟수가 많으면 접근성이 떨어진다. 구조적 복잡성은 제품 구조상의 특징으로 부품의 형상이 대칭이고 위치결정에 도움을 주는 요소가 존재하면 접근하기 쉬우며, 다른 부품과의 연계성을 가지거나 정렬의 어려움 등 구조적으로 복잡하면 접근이 어렵다. 등급결정은 <그림 3>과 같이 두 단계로 분류하였다.

단순점근	타부품의 연계성이 없음		- 부품 형미대칭 - 위치 결재에 도움을 주는 요소가 존재
	타부품의 연계성을 가짐		- 부품 형미대칭 - 위치 결재에 도움을 주는 요소가 존재
구조적으로 복잡한 점근	부품의 형상이 복잡		- 위치 결재에 도움을 주는 요소가 존재 - 접은 시나리오 부품의 간섭 발생
	부품의 형상이 단순		- 위치 결재에 도움을 주는 요소가 존재하지 않음 - 정렬의 어려움 발생

그림 3. 제품구조의 등급.

표 5. 체결점 이동에 대한 세부영향요소

	영향요소	등급		
		1	2	3
체결점 이동	이동영역	충분함	보통	좁음
	부품특성	단단함	보통	파손 주의
이동 용이성	시각성	높음	중간	낮음
	접근방향 변경수	없음	1번	2번 이상
	구조적 복잡성	간단함		복잡함
	부품 간 간섭	없음	보통	많음

부품 간 간섭은 이동경로상에 부품 간 간섭이 있어, 해당 부품을 제거하거나 특정한 툴을 사용해야 할 경우로, 부품 간 간섭이 없어 접근이 용이하면 1등급 5점, 어느 정도 간섭이 있지만 부품의 제거 없이 접근 가능하면 2등급 3점, 부품을 제거하고 난 후 접근 가능하면 3등급 1점을 준다. <표 5>는 체결점 확인의 중요도 점수를 위한 영향요소의 등급점수를 나타내었다.

3.3 체결점 분리공정에서의 세부영향요소

체결점을 확인하고, 분리할 체결점까지 이동한 후 체결점을 분리도구로 고정하고 분리력을 가하는 공정이다. 부품 고정성은 용이한 분리작업을 위해 부품이 흔들림이 없이 잘 고정되어 있는 정도로, 고정을 위한 다른 작업이 필요 없으면 1등급 5점, 작업자의 한 손으로 고정 후 다른 한 손으로 분리 가능하면

2등급 3점, 고정을 위한 다른 기구의 사용이 필요하다면 3등급 1점을 준다. 체결요소가 영구체결로 되어 있으면 유지, 보수를 위한 분리 시 해당 부품 및 주위 부품의 파손우려가 높고, 많은 주의를 기울여야 하므로 높은 난이도와 시간을 필요로 한다. 만일, 단순 분리나, 파쇄를 위한 분리라면 찢기나 뜯기 등 영구체결의 분리방법이 더 우수할 수 있다. 두 단계로 분류되 작업자가 분리의 목적을 고려하여 조정값을 사용할 수 있다. 여기서는 유지, 보수를 위한 분리로 가정하여 비영구체결이면 5점, 영구체결이면 1점을 주었다. 분리력을 작게 들어서 분리할 수 있으면 해체 용이성이 좋아진다. 작업자의 손으로 분리할 수 없는 분리력이면 도구를 사용하거나 기계를 사용해야 하므로 작업시간이 길어지고, 작업도 어려워진다. 한 손의 힘으로 분리 가능하면 1등급 5점, 두 손의 힘으로 분리 가능하면 2등급 3점, 작업자의 힘으로 분리할 수 없어 도구를 사용하여 분리 가능하면 3등급 1점을 준다. 분리방향은 체결요소를 분리하는 방향으로, 분리방향이 작업자를 향해 밀거나 당기는 방향이면 작업이 용이하며 측면이거나, 분리방향이 분리도중 바뀐다면 작업의 용이성이 떨어진다. 작업영역은 분리작업 시 필요한 영역으로 <그림 4>와 같이 분리공구의 반경이나, 분리작업영역이 확보되면 보다 빠르고 쉽게 분리할 수 있다.

체결요소의 수는 해당 부품에 체결되어 있는 요소의 개수로, 체결요소의 수가 많으면 분리시각 체결요소마다 분리도구를 교환해야 하며, 각 체결요소의 분리에 대한 정보도 달라지므로 작업시간이 늘어나고, 해체 용이성이 떨어진다. 체결요소의 종류에 따라 3단계로 분류하였다. 체결점 수는 해당 부품에 체결되어 있는 체결점의 수로, 체결점 수가 많으면 체결점을 분리하기 위한 작업시간이 늘어나게 된다. 체결점의 개수에 따라 3단계로 분류하였다.

<표 6>은 체결점 분리를 위한 영향요소의 중요도 등급점수를 나타내었다.

작업영역	개방성	공간허용 정도
중음 도구의 움직임이 자유로움	완전 개방	$\{r_2 > r_1\} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} > 1.5r_2 \Rightarrow$ 자유로운 도구의 움직임
보통 도구의 움직임에 부분적인 제약이 따름	부분 개방	$\{h_1 > r_1\} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} - d_4 < 1.5r_2 \Rightarrow$ 부분적인 제약이 따름 $\{h_1 < r_1\} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} - d_4 < 1.5r_2 \Rightarrow$ 자유로운 도구의 움직임
		$\{h_1 > r_1\} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} < 1.5r_2 \Rightarrow$ 부분적인 제약이 따름 $\{h_1 < r_1\} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} < 1.5r_2 \Rightarrow$ 자유로운 도구의 움직임
나쁨 도구의 움직임에 제약이 많음	제한적인 부분개방	$\{h_1 > r_1\} \& \min\{\phi, \phi, \phi, \phi\} < 1.5r_2 \Rightarrow$ 부분적인 도구의 제약 $\{r_2 < h_2 < 1.5r_2\} \Rightarrow$ 부분적인 도구의 제약

그림 4. 작업영역의 등급.

표 6. 분리 용이성의 세부영향요소

	영향요소	등급		
		1	2	3
체결점 분리 용이성	부품고정성	높음	중간	낮음
		5	3	1
	영구/비영구	비영구체결		영구체결
		5		1
	분리력	적음	중간	큼
		5	3	1
	분리방향	정방향	보통	역방향
		5	3	1
	작업영역	충분함	보통	좁음
		5	3	1
	체결요소 수	1가지	2~3가지	4가지 이상
		5	3	1
체결점 수	2개 이하	3~5개	6개 이상	
	5	3	1	

3.4 잡힘점 파악의 세부영향요소

체결점을 분리한 후 부품을 들어내기 위해서 잡아야 할 곳을 파악하는 공정이다. 3.2의 체결점 파악과도 연관되는 부분이 있지만 여기서는 부품을 들어내기 위한 잡힘점 파악에 중점을 둔다. 제품을 분리하기 위해 잡는 성질을 파악하고 잡힘점을 쉽게 알아낼 수 있는 세부영향요소를 포함한다. 잡힘정보는 잡힘점이 색상이나 특정표시, 또는 잡힘정보가 있으면 작업자가 잡힘점을 파악하기 쉽다. 유무에 따라 두 단계로 분류하였다. 시각성은 잡힘점의 시각성과 접근경로의 보이는 정도를 나타내며, 등급결정은 체결점 확인의 시각성 등급 분류기준과 동일하다. 부품특징은 부품의 형상이 불규칙하거나, 무게중심이 일정하지 않으면 잡힘점 파악이 어렵다. 형상의 불규칙 정도나, 무게중심 등을 파악하기 위해서 부품의 α-대칭성을 이용한다. 부품의 α-대칭성이 0~180도이면 일정한 형상과 무게중심을 가진다고 할 수 있으므로 1등급 5점을 준다. 해당 부품의 α-대칭성이 360도이며, 다른 부품과의 간섭이 없으면 2등급 3점을 주고, 해당 부품의 α-대칭성이 360도이며, 다른 부품과의 간섭이 있으면 3등급 1점을 준다. 접촉상태는 <그림 5>와 같이 들어낼 부품의 접촉상태에 따른 것으로, 부품이 차체와 안정적으로 놓여 있고 면접촉하며, 잡힘점이 충분하면 1등급 5점, 안정하고 면접촉하여도 잡힘점이 충분하지 않으면 2등급 3점, 잡힘점 파악이 어렵고, 불안정한 놓임이면 3등급 1점을 준다. 들어낼 부품의 크기가 너무 작으면 핀셋이나 광학도구 등 특정 분리도구가 필요하며, 너무 크면 무게중심을 잡거나 들어내기 어려우므로 잡힘점 파악이 어렵다. 한 손으로 잡을 수 있는 크기

잡기용이성	놓임 상태	Sketch	잡힘 특성
좋음	<ul style="list-style-type: none"> 안정적 놓임 지면과 면 접촉 		잡는 부위는 지면과 떨어져 있음
보통	<ul style="list-style-type: none"> 불안정한 놓임 지면과 선/점 접촉 		잡는 부위는 지면과 떨어져 있음
나쁨	<ul style="list-style-type: none"> 안정적 놓임 지면과 면 접촉 		잡을 때 도움이 되는 보조 요소 존재
	<ul style="list-style-type: none"> 불안정한 놓임 지면과 선 접촉 		잡는 부위는 지면과 거의 접촉된 상태

그림 5. 접촉상태의 등급.

이면 1등급 5점, 두 손으로 잡을 수 있는 크기이면 2등급 3점, 특정 분리도구를 사용하여 잡을 수 있는 크기이면 3등급 1점을 준다. <표 7>은 잡힘점을 파악하기 위한 영향요소의 중요도 등급점수를 나타내었다.

표 7. 잡힘점 인식에 대한 세부영향요소

	영향요소	등급		
		1	2	3
잡힘점 파악 확인 용이성	잡힘정보	있음		없음
		5		1
	시각성	높음	중간	낮음
		5	3	1
	부품특징	좋음	보통	나쁨
		5	3	1
	접촉상태	면접촉	선접촉	점접촉
		5	3	1
	부품크기	한 손으로 잡음	두 손으로 잡음	특정 도구 필요
		5	3	1

3.5 잡힘점 이동의 세부영향요소

잡힘점을 파악한 후 부품을 들어내기 위해서 잡힘점까지 이동하는 공정으로, 작업자의 손이나 분리도구의 이동에 관여되는 세부영향요소들이 포함되어 있다. 이번 공정에서는 부품을 들어내기 위해 분리도구들이 이동하는 공정이므로 기본적으로 3.2절의 체결점 이동과 세부영향요소가 같은 접근 용이성으로 평가하였다. 하지만 체결점 이동과는 달리 잡힘점 이동은 이미 체결점이 분리된 상태이기 때문에 분리부품의 접촉상태가 불안정해질 수 있다. 이것을 고려하여 공정 위험도를 영향요소에 추가하여, 잡힘점 이동의 영향요소는 체결점 이동의 영향요소에 공정 위험도를 더한 7가지가 된다.

3.6 들어냄 공정에서의 세부영향요소

잡힘점까지 이동한 후 마지막으로 부품을 들어내는 공정이다. 들어냄 공정은 들어내기 전에 다른 부품과의 간섭이나 고정된 상태 등 부품이 현재 위치하고 있는 상태에 관한 분리 구조성과 들어낼 부품의 취급 용이성의 두 가지로 나눈다. 그 이유는 들어냄 작업을 하기 위해서는 들어낼 부품의 취급에 관한 부분과 현재 위치하고, 놓여져 있는 부품의 상태 모두를 고려해야 하기 때문이다.

3.6.1 분리 구조성

분리작업을 하기 전에 원래 구성되어 있는 부품들의 특성으로, 분리를 고려하지 않는 설계나 조립에서 이러한 부분은 더 나 빠질 수 있다. 들어냄 작업을 하기 전 먼저 고려되어야 하는 요소로 해당 부품을 들어내기 위해서 미리 제거해야 할 부품에 관한 사전 해체 부품 수, <그림 6>과 같이 결정되어지는 부품의 배치상태, 배치상태는 타 부품과의 간섭, 들어내기에 충분한 공간, α-대칭성 등을 고려하여 평가한다. 분리할 부품과 연결되어 있는 연결 부품 수, 들어낼 부품의 시각성 등 4개의 영향요소를 가진다.

3.6.2 취급 용이성

분리될 부품이나, 분리된 부품 또는 조립군을 잡아서 운반하거나 놓인 위치를 변경에 관련된 동작 전체를 말하는 것으로, 여기서는 체결점을 분리한 부품을 들어내는 동작에 관한 것으로 정의하였다. 취급 용이성에 영향을 주는 요소로는 작업자에게 위험을 줄 수 있는 유해성 유무, 취급하기 용이한 무게, 체결요소와 부품의 표준화 유무, 취급하기 용이한 취성과 강도에 관한 소재 및 강도, 부품의 복잡한 정도에 관한 부품형상, 부품형상은 <그림 2>의 α, β의 각의 합으로 360도 이하이면 5점, 360도 이상이면 1점을 준다. 분리도구의 접근이나 작업자의 작업영역에 관한 작업영역, 분리의 취급성을 높일 수 있는 취급기구 등 7개를 선정하였다. <표 8>은 잡힘점 파악을 위한 영향요소의 중요도 등급점수를 나타내었다.

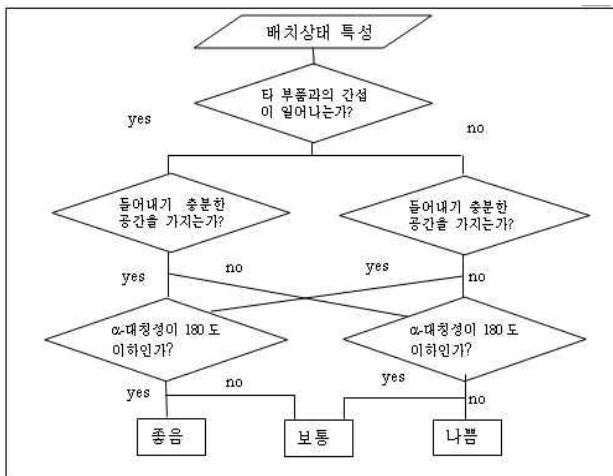


그림 6. 부품의 배치 정도에 대한 등급.

표 8. 분리 용이성의 세부영향요소

	영향요소	등급		
		1	2	3
분리 구조성	사전 해체 부품 수	없음	1~2가지	3가지 이상
	배치상태	직접	복합	순서
	연결 부품 수	0~1개	2~3개	4개 이상
	시각성	5	3	1
들어냄 취급 용이성	유해성	낮음	중간	높음
		5	3	1
	무게	적당한 무게	무겁거나 가벼움	
		5	1	
	표준화 여부	높음	중간	낮음
		5	3	1
	소재 및 강도	단단하고, 높은 강도	유연한 소재, 높은 강도	유연한 소재, 낮은 강도
		5	3	1
	부품형상	취급하기 용이한 형상	취급하기 어려운 형상	
		5	1	
작업영역	충분함	보통	좁음	
	5	3	1	
취급기구	있음	없음		
	5	1		

4. 분리공정 분석 및 가중치 결정

4.1 공정의 세부영향요소에 의한 체크리스트 작성

3장에서 정의한 세부영향요소를 바탕으로 부품의 특성을 파악할 수 있는 체크리스트를 작성한다. <표 9>는 들어냄의 체크리스트를 나타내었다. 체크리스트 문항의 수는 3장에서 정의한 세부영향요소의 수와 같다.

4.2 공정별 가중치 결정

4.1절에서 구한 체크리스트로 부품의 각 공정별 점수를 구할 수 있다. 각 공정의 상대적 중요도를 결정하기 위해서 각 공정에 가중치를 부여한다.

일반적으로 AHP 방법은 쌍대비교를 통한 효율적인 방법으로 알려져 있지만 작성자의 주관에 개입될 소지가 많고, 직관에 의지하므로 객관성이 다소 떨어지게 된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 줄이기 위하여 분리공정의 평가기준에 따른 가중치를 제안하고 사용하였다. 분리공정의 평가기준에 따른 가중치방법은 전체 공정 중 해당 공정의 어려움, 필요 신체부위

의 등급, 평균 작업시간, 해당 공정의 발생빈도, 애로공정의 발생빈도 등 5가지의 분리평가 기준을 제시하여 각 요소별로 해당되는 부분을 체크하여 가중치를 계산하는 방법이다. AHP 방법은 작성자에 따라서 그 결과값이 조금씩 달라질 수 있지만 분리공정의 평가기준에 따른 방법은 각 분리공정을 정확히 이해한다면 보다 편차가 줄어들 수 있다. 보다 객관적이고 정확한 결과를 위해 9점척도에 의한 AHP 방법에 차량해체에서는 영향요소 수를 고려한 가중치를, 부품해체에서는 분리공정에서의 영향요소를 고려한 가중치를 고려하였다. 이렇게 구한 가중치를 차량해체는 각 분리공정별로, 부품해체는 각 해당 용이성별로 고려하였다.

전체 공정 중 해당 공정의 어려움은 체결점 확인, 체결점 이동 등 각 공정이 전체 분리공정 중 어렵고 쉬움을 결정하는 영향력의 정도를 나타내는 것으로, 세 가지 등급으로 나누었다. 해당공정이 전체 분리공정의 어려움 중 40% 이상의 어려움이 나타나면 5점을, 20% ~ 40%의 어려움이 나타나면 3 ~ 4점을, 20% 이하의 어려움이면 1점을 준다.

필요 신체부위의 등급은 체결점 확인이나, 이동, 분리 등 각 분리공정의 작업 시 주로 사용하는 신체부위에 따라 분류한 것으로, 손과 머리만을 움직이는 경우와 팔과 몸통을 이용하는 경우, 다리를 이용하는 경우로 구분하였다. 사용하는 신체부위가 낮을수록 작업의 난이도는 낮아지며, 사용하는 신체부위가 높을수록 작업의 난이도는 높아져서 분리작업을 어렵게 한다. 머리, 손 등 낮은 신체부위를 사용하여 분리 가능하면 1 ~ 2점, 손, 팔, 몸통을 사용하여 분리하면 3 ~ 4점, 팔이나 몸통, 다리를 모두 사용하여 분리하면 5점을 준다.

평균 작업시간은 대상물을 분리하는 데 소요된 전체 분리시간 (체결점 확인시간 + 체결점 이동시간 + 체결점 분리시간 + 잠힘점 파악시간 + 잠힘점 이동시간 + 들어냄 시간) 에서 해당 분야의 소요시간 비율로 나타낸 것으로, 전체 분리시간에 대해 30% ~ 50%로 분류하였다. 일반적으로 체결점 분리시간이 많이 분석되었으며, 들어냄보다는 체결점 분리시간의 비율이 더 높았다. 전체 분리시간 중 해당 공정의 분리시간의 비율이 30% 이하이면 1 ~ 2점, 30% ~ 50% 이면 3 ~ 4점, 50% 이상이면 5점을 준다.

해당 공정의 발생빈도는 체결점 확인, 체결점 이동, 체결점 분리, 잠힘점 파악, 잠힘점 이동, 들어냄 등의 각 공정이 전체 분리공정 수행 시에 매회 얼마나 자주 발생하는가를 판단하는 기준이다. 예를 들어 특정 부품을 분리하는데 볼트로 된 체결점의 수가 많다면 체결점 확인과 이동, 분리의 횟수가 많아진다. 전체 분리공정 중 해당 공정의 발생빈도가 매 분리 수행시 30% 이내로 발생하면 1 ~ 2점, 30% ~ 50%로 발생하면 3 ~ 4점, 50% 이상이면 5점을 준다. 애로공정의 발생빈도는 분리공정 수행시에 체결점 확인, 체결점 이동, 체결점 분리, 잠힘점 파악, 잠힘점 이동, 들어냄, 각각에서 발생된 애로의 비율로서, 체결점 분리 시에 발생하는 애로가 50%, 체결점 이동과 들어냄 시에 발생하는 애로가 30% 정도 되는 것으로 확인되었으며

표 9. 분리 용이성에 대한 체크리스트

들어냄	분리 구조성 (정의: 분리 대상물이 위치하고 있는 상태나 분리하기 위해 선행되어야 하는 공정 등에 관련되는 성질)	사전 해체 부품수	<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 1~2가지 <input type="checkbox"/> 3가지 이상
		배치상태	<input type="checkbox"/> 직접 <input type="checkbox"/> 복합 <input type="checkbox"/> 순서
		연결 부품 수	<input type="checkbox"/> 0~1개 <input type="checkbox"/> 2~3개 <input type="checkbox"/> 4개 이상
		시각성	<input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 낮음
	취급 용이성 (정의: 분리력을 작용하기 전, 후로 분리될 조립군, 제품이나 분리될 부품을 다루기 용이한 정도)	유해성	<input type="checkbox"/> 낮음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 높음
		무게	<input type="checkbox"/> 적당한 무게 <input type="checkbox"/> 무겁거나 가벼움
		표준화 여부	<input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 낮음
		소재 및 강도	<input type="checkbox"/> 단단한 소재 <input type="checkbox"/> 유연한 소재 <input type="checkbox"/> 유체
		부품형상	<input type="checkbox"/> 취급하기 용이한 형상 <input type="checkbox"/> 취급하기 어려운 형상
		작업영역	<input type="checkbox"/> 충분함 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 좁음
취급기구	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음		

이에 따라 각각 점수를 주었다. 전체 애로공정 중 해당 공정의 애로가 30% 이하이면 1 ~ 2점, 30% ~ 50%이면 3 ~ 4점, 50% 이상이면 5점을 준다.

5가지의 평가기준으로 평가표를 작성하고 각 공정의 가중치를 산정하였다. 체결점 확인공정은 비교적 쉬운 작업 난이도로 전체 공정 중 0.090의 가중치를 가지고, 체결점 분리는 비교적 높은 작업 난이도와 많은 작업시간의 필요로 0.281의 가중치를 가진다. <표 10>은 각 공정의 가중치를 표로 나타내었다.

5. 세부설계원칙 우선순위 결정방법

세부설계원칙 우선순위 결정을 위해 분리할 부품의 점수를 산정하는 식 (1)을 나타내었다. 각 공정별 세부영향요소의 체크리스트를 참조하여 식 (1)에 대입, 1등급 영향요소의 개수에 5점을 곱하고, 2등급 영향요소의 개수에 3점, 3등급 영향요소의 개수에 1점을 곱하여 모두 더하면 해당 공정의 점수를 산정할 수 있다. 산정된 점수에 각 공정의 가중치를 곱해주면 최종 점수를 얻을 수 있다. 이렇게 산정된 점수를 기준으로 세부설계원칙이 적용되었을 때의 부품점수를 구해 비교한 후 세부설계원칙 우선순위를 결정한다. <그림 7>은 세부설계원칙의 우선순위를 결정하기 위한 전체적인 개요를 보이고 있다. 분리할 부품이 선택되어지면 현재 상태에서의 점수를 파악하기 위하여 4장에서 정의한 체크리스트를 작성하여 2장의 점수 테이블을 참조하여 점수를 구하고 이에 3장에서 구한 가중치를 곱

표 10. 분리 용이성 평가에 따르는 가중치

해당 공정의 어려움	1~2 : 전체 분리공정의 어려움에 미치는 영향이 없음 3~4 : 전체 분리공정의 어려움에 약간의 영향을 미침 ~ 5 : 전체 분리공정의 어려움에 많은 영향을 미침
필요 신체부위의 등급	1~2 : 머리, 손가락 등 낮은 신체부위를 사용 3~4 : 손, 팔, 몸통을 이용 ~ 5 : 팔이나 몸통과 다리를 모두 사용
평균 작업시간	1~2 : 전체 분리에 소요되는 시간의 30% 이내 3~4 : 전체 분리에 소요되는 시간의 50% 이내 ~5 : 전체 분리에 소요되는 시간의 70% 이내
해당 공정의 발생빈도	1~2 : 매 분리 수행 시에 10% 이내로 발생 2~3 : 매 분리 수행 시에 30% 이내로 발생 ~5 : 매 분리 수행 시에 50% 이내로 발생
애로공정의 발생빈도	1~2 : 전체 애로공정의 10% 이내 3~4 : 전체 애로공정의 20% 이내 ~5 : 전체 애로공정의 30% 이상



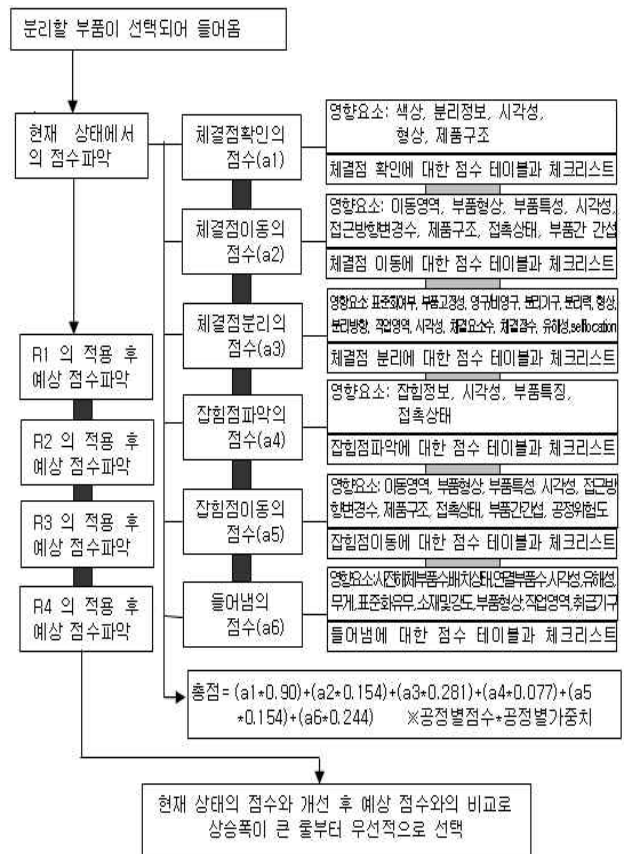
	평가기준					TOTAL
	해당 공정의 어려움	필요 신체부위의 등급	평균 작업시간	해당 공정의 발생빈도	애로 공정의 발생빈도	
체결점 확인	1	2	1	3	1	9 (0.108)
체결점 이동	3	3	1	1	3	11 (0.133)
체결점 분리	5	3	5	5	5	23 (0.2777)
잡힘점 파악	1	1	1	3	2	8 (0.096)
잡힘점 이동	3	3	2	1	2	11 (0.133)
뜯어냄	5	5	3	5	3	21 (0.253)

하여 준다. 이것을 기본점수로 하고, R1을 적용했을 때의 예상 점수를 위와 같은 방법으로 구하고, R2, R3 역시 같은 방법으로 구한 후, 기본점수에서 상승폭이 큰 세부설계원칙부터 우선순위를 준다.

$$T = \sum_{i=1}^6 \{ (ax_i + by_i + cz_i) / aq_i * X_i \} \quad (1)$$

여기서, T: 각 세부 설계요소의 총 점수

- i: 각 공정순서
(1: 체결점 확인, 2: 체결점 이동, 6: 뜯어냄.)
- a: 높은 점수 (본 실험에서는 5점)
- b: 중간 점수 (본 실험에서는 3점)
- c: 낮은 점수 (본 실험에서는 1점)
- x_i: 높은 점수를 갖는 체크된 질문의 개수
- y_i: 중간 점수를 갖는 체크된 질문의 개수
- z_i: 낮은 점수를 갖는 체크된 질문의 개수
- q: 질문의 개수
- X: 가중치



R1, R2, R3, R4: 세부 설계요소원칙
그림 7. 우선순위 결정을 위한 작업순서.

6. 사례연구

6.1 연구대상의 선정

본 연구에서는 사례 연구로 자동차 앞 도어 유리고정판을 선정하였다. 자동차 앞 도어 유리고정판은 분리점에 접근이 힘들고, 도구가 분리점에 고정되어 있지 않아 분리력 전달 시 잡힘성이 떨어져 개선의 여지가 많기 때문이다. 앞도어 유리고정판의 분리 시 가장 큰 애로는 접근공간이 부족하여 접근성

이 떨어지는 것으로, 접근성 확보를 위해 접근공간의 크기를 충분히 해야 함을 실험을 통해 알아내었다. 접근성 확보를 위해 세부설계원칙이 <그림 7>과 같이 주어졌다. 현재 상태에서의 부품점수를 알아보기 위해 체크리스트를 작성하였다. <그림 8>은 자동차 앞 도어 유리고정판의 현재 상태에서의 네 개의 공정을 나타내었다.

<표 12>에 체크된 체크리스트를 바탕으로 각 공정의 점수를 산정하였다.

설계 대원칙	접근공간의 크기를 충분히 하라.
세부설계원칙	1> 작업자의 신체 일부(손가락, 손)가 접근할 수 있는 공간을 확보하라. 2> 체결점(분리점)의 주위를 개방상태로 유지하라. 3> 해당 분리도구가 분리점에 접근할 수 있는 공간을 확보하라. 4> 접근공간에 알맞은 전용도구를 개발(이용)하라. 5> 체결점을 작업자 작업방향에 두라.



- 재깍을 위한 흠이나, 접근을 표시할 만한 요소가 없으므로, 분리점에 접근이 힘들
- 재깍을 위한 흠 등이 없어 도구가 분리점에 고정되어 있지 않아 분리력 전달 시 잡힘성이 떨어짐

그림 8. '접근공간을 충분히 하라'에 대한 세부영향요소.

- 체결점 확인공정의 점수
 - $(5 * 1) + (3 * 3) + (1 * 1) = 15$ 점
 - 모든 영향요소가 좋음일 경우 $5 * 5 = 25$ 점으로 $15 / 25 = 0.6$ 으로 60점
 - 체결점 확인의 가중치 = 0.077
 - 체결점 확인공정의 최종점수 = $15 / 25 * 0.063 = 0.038$ 로 38점
- 체결점 이동공정의 점수
 - $(5 * 1) + (3 * 3) + (1 * 2) = 16$ 점
 - 모든 영향요소가 좋음일 경우 $5 * 6 = 30$ 점으로 $16 / 30 = 0.53$ 으로 53점

- 확인의 가중치 = 0.147
- 체결점 확인공정의 최종점수 = $16 / 25 * 0.156 = 0.100$ 로 110점

표 11. 앞 도어 유리에 대한 체크리스트

	기준 분류	영향요소	Checking
체결점 확인	체결점 파악 용이성 (정의: 분리하려는 대상의 체결방법을 인식하고 체결점을 쉽게 알아낼 수 있는 성질)	색상	<input type="checkbox"/> 체결부위가 색상으로 구별 <input type="checkbox"/> 구별되지 않음
		분리정보	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음
		시각성	<input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 낮음
		형상	<input type="checkbox"/> 파악이 쉬움 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 파악이 어려움
체결점 이동	접근용이성 (정의: 분리력을 작용할 부위에 분리 추가를 쉽게 이동하며 분리력을 전달할 수 있도록 접근시킬 수 있는 정도)	제품구조	<input type="checkbox"/> 간단함 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 복잡함
		이동영역	<input type="checkbox"/> 충분함 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 좁음
		경로부품특성	<input type="checkbox"/> 단단함 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 파손주의
		시각성	<input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 낮음
		접근방향변경수	<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 1회 <input type="checkbox"/> 2회
		구조적복잡성	<input type="checkbox"/> 간단함 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 복잡함
체결점 분리	해체용이성 (정의: 조립된 부위에 분리력을 가하여 체결력을 제거하기 쉬운 정도)	부품간 간섭	<input type="checkbox"/> 없음 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 많음
		부품 고정성	<input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 낮음
		영구/비영구	<input type="checkbox"/> 비영구체결 <input type="checkbox"/> 반영구체결 <input type="checkbox"/> 영구체결
		분리력	<input type="checkbox"/> 적음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 큼
		분리방향	<input type="checkbox"/> 단순 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 복잡함
		작업영역	<input type="checkbox"/> 충분함 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 좁음
잡힘점 파악	잡힘점 파악 용이성 (정의: 제품을 분리하기 위해 잡는 성질을 파악하고 잡힘점을 쉽게 알아낼 수 있는 성질)	체결요소 수	<input type="checkbox"/> 1가지 <input type="checkbox"/> 2~3가지 <input type="checkbox"/> 4가지 이상
		체결점 수	<input type="checkbox"/> 2개이하 <input type="checkbox"/> 3~5개 <input type="checkbox"/> 6개이상
		잡힘정보	<input type="checkbox"/> 있음 <input type="checkbox"/> 없음
		시각성	<input type="checkbox"/> 높음 <input type="checkbox"/> 중간 <input type="checkbox"/> 낮음
		부품특징	<input type="checkbox"/> 좋음 <input type="checkbox"/> 보통 <input type="checkbox"/> 나쁨
		접촉상태	<input type="checkbox"/> 면접촉 <input type="checkbox"/> 선접촉 <input type="checkbox"/> 점접촉
	부품크기	<input type="checkbox"/> 한 손 <input type="checkbox"/> 두 손 <input type="checkbox"/> 도구사용	

이와 같은 방법으로 각 공정의 현재 상태의 점수를 산정하면 <표 12>와 같이 얻어진다.

표 12. Raw 파트점수

현재 상태	총점(1000점)
체결점 확인 : 38/77, 체결점 이동 : 110/147 체결점 분리 : 220/291, 잡힘점 파악 : 55/67 잡힘점 이동 : 120/157, 들어냄 : 250/261	793점

<표 13>은 현재 상태에서 각 세부설계원칙을 적용했을 때의 점수를 나타내었다. ① '작업자의 신체 일부(손가락, 손)가 접근할 수 있는 공간을 확보하라'를 적용했을 때 접근공간의 확보로 체결점 이동과 잡힘점 이동공정의 점수가 각각 71점에서 95점, 80점에서 90점으로 상승하였고 들어냄 공정의 점수도 147점에서 165점으로 상승하였다. ①번 룰을 적용했을 때 총점수의 상승폭은 73점으로 총점은 793점이 되었다. ②, ③, ④, ⑤번 룰도 각각 적용하여 점수 상승을 얻었다.

표 13. 세부 디자인 원칙에 의한 점수 테이블

현재 상태	총점(1000점)
체결점 확인 : 54/90, 체결점 이동 : 99/154 체결점 분리 : 206/281, 잡힘점 파악 : 50/77 잡힘점 이동 : 92/154, 들어냄 : 129/244	793점
① 작업자의 신체 일부(손가락, 손)가 접근할 수 있는 공간을 확보하라.	
체결점 확인 : 54/90, 체결점 이동 : 99/154 체결점 분리 : 206/281, 잡힘점 파악 : 50/77 잡힘점 이동 : 92/154, 들어냄 : 129/244	820점(+27)
② 체결점(분리점)에 주위를 개방 상태로 유지하라.	
체결점 확인 : 54/90, 체결점 이동 : 99/154 체결점 분리 : 206/281, 잡힘점 파악 : 50/77 잡힘점 이동 : 92/154, 들어냄 : 129/244	805점(+12)
③ 해당 분리도구가 분리점에 접근할 수 있는 공간을 확보하라.	
체결점 확인 : 54/90, 체결점 이동 : 99/154 체결점 분리 : 206/281, 잡힘점 파악 : 50/77 잡힘점 이동 : 92/154, 들어냄 : 129/244	801점(+8)
④ 접근 공간에 알맞은 전용도구를 개발(이용)하라.	
체결점 확인 : 54/90, 체결점 이동 : 99/154 체결점 분리 : 206/281, 잡힘점 파악 : 50/77 잡힘점 이동 : 92/154, 들어냄 : 129/244	799점(+6)
⑤ 체결점을 작업자 작업방향에 두라.	
체결점 확인 : 54/90, 체결점 이동 : 99/154 체결점 분리 : 206/281, 잡힘점 파악 : 50/77 잡힘점 이동 : 92/154, 들어냄 : 129/244	814점(+21)

- 앞 도어 판넬의 분리 시 접근공간의 크기를 충분히 하기 위한 우선설계원칙
 - 1> ① 작업자의 신체 일부(손가락, 손)가 접근할 수 있는 공간을 확보하라. (+27)
 - 2> ③ 해당 분리도구가 분리점에 접근할 수 있는 공간을 확보하라. (+12)
 - 3> ④ 체결점(분리점)의 주위를 개방상태로 유지하라. (+8)
 - 4> ⑤ 체결점을 작업자 작업방향에 두라. (+6)
 - 5> ② 접근공간에 알맞은 전용도구를 개발(이용)하라. (+21)
- 여기서, 1>, 2>, ...5>는 <그림 8>에 있는 세부설계원칙들을 가리키며, ①, ②, ...⑤는 점수표에 의해 선택될 수 있는 설계원칙의 우선순위를 나타내고 있다.

자동차 앞 도어 판넬의 분리작업 개선을 위해 접근공간의 크기를 충분히 해야 한다면 주어진 다섯 가지의 세부설계원칙 중에서 ‘작업자의 신체 일부(손가락, 손)가 접근할 수 있는 공간을 확보하라.’를 적용 시 가장 큰 개선효과를 볼 수 있음을 알 수 있다.

7. 결 론

본 연구에서는 세부설계원칙을 상황에 맞게 우선순위를 부여하는 방법을 제시하였다. 기존의 정성적 요소의 설계원칙을 평가하던 AHP 방법에서 공정을 보다 정량화하여 설계원칙을 평가하였다. 제품의 분리작업을 순서에 따라 체결점 확인, 체결점 이동, 체결점 분리, 잡힘점 파악, 잡힘점 이동, 들어냄 등으로 구분하여 각 과정에서의 영향요소를 분석하여 세부영향요소를 결정하였다. 분리작업의 총 영향요소 수는 41개로 보다 정확하고 객관적인 평가를 위해서 기존의 연구보다 다소 많은 요소들을 포함하였다. 이렇게 선정한 각 영향요소를 평가기준에 맞게 분류하고 기준에 따라 점수를 주어 점수표를 제시하였다. 그리고, 부품의 평가를 위해 선정한 영향요소를 체크리스트로 만들어 점수 산정에 편리를 도모하였다. 또한 분리에 많은 영향을 미치는 공정을 알아내기 위해 가중치 산정방법에 관심을 두었으며, 가중치 산정방법에서도 기존에 사용하던 AHP 방법을 배제한 분리작업의 영향력에 따른 가중치를 도입하여 사용하였다. 이러한 과정을 거쳐 부품의 개선 전, 현재 상태의 점수를 산정한 기본점수값과 각 세부설계원칙을 적용하였을 때 구해진 점수값을 비교하여 우선되는 설계원칙을 구할 수 있다.

이것은 분리작업의 개선을 위한 세부설계원칙의 우선순위 결정뿐 아니라 현재 부품의 취약점에 대해서도 평가할 수 있다.

향후 연구과제로는 점수로 구한 우선순위 결정방법을 분리 실험을 통한 시간 테이블 작성과 데이터베이스 구축을 위한 프로그램화가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- Herbert, F.(1995), *Recycling Handbook*, McGraw-Hill.
- Mok, H. S, Moon, K. S, Park, H. S, Sung, J. H, Choi, H. W (2003), Determination of Design Parameters for Automobile Parts Recycling, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **20**(1), 159-157.
- Saaty, T., *Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process. Management Science*, **32**(7), 841-855.
- Mok, H. S, Park, H. S, Moon, K. S, Cho, J. R (2002), Development of disassembly and recycling technology of automobile parts for environment, *Korea Science and Engineering Foundation*.
- Mok, H. S, Moon, K. S, Kim, S. H, Moon, D. S (1999), THE Complexity Evaluation System of Automobile Subassembly for Recycling, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering* **16**(5), 101-114.
- Cho, G, T (2002), Aggregation of Multiple Evaluator's Weights in Applying the AHP to Evaluate Technology Alternatives, *Management Science*, **19**(2), 139-153.

Kim, S. C, Eo, H. J (1994), Priority Aggregation for AHP based Experts Opinions, *Korean Operation Research and Management Science*, **19**(3), 41-51.

Yun, J. G. (1996) Application effects and limitations of AHP as a research methodology~A Comparison of 3 statistical technique for evaluation MIX success factor, *Korean Operations*

Research and Management Science Society, **21**(3), 109-125.

Harker, P. (1987), The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, **33**(11), 1383-1402.

Mok, H. S, Moon, K. S, Cho, J, R, Sung, J. H. (2002), Development of DFD for recycling, Hyundai-motor.



목학수

부산대학교 기계설계학과 학사
KAIST 기계공학과 석사
독일 Aachen 대학교 공학박사
현재: 부산대학교 산업공학과 교수
관심분야: 제품의 조립 및 분리용이성 설계



조종래

부산대학교 산업공학과 학사
부산대학교 산업공학과 석사
부산대학교 산업공학과 박사
현재: 현대자동차 환경기술개발팀 선임연구원
관심분야: 자원 재활용 설계



이재성

창원대학교 산업시스템공학과 학사
부산대학교 산업공학과 석사
관심분야: 분리용이성 평가